



TITLE:

環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルによる道路交通政策の評価(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

尹, 鍾進

CITATION:

尹, 鍾進. 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルによる道路交通政策の評価. 京都大学, 2002, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2002-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k9523>

RIGHT:

環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルによる

道路交通政策の評価

2001年12月17日

尹 鍾進

環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルによる
道路交通政策の評価

2001年12月17日

尹 鍾進

目 次

第1章 序論	1
1. 1 研究の背景	1
1. 2 研究の目的	4
1.2.1 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの構築	4
1.2.2 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性の検証	4
1.2.3 持続可能な社会の実現に向けた方法論の提言	6
1. 3 研究の構成	7
第2章 土地利用・交通相互作用モデルの必要性	11
2. 1 土地利用と交通との相互作用による誘発交通	11
2.1.1 誘発交通の概念	11
2.1.2 利用者便益と誘発交通	13
2. 2 交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響	17
2.2.1 交通とスプロール	17
2.2.2 スプロールのインパクト	19
2. 3 道路投資による間接効果	21
2. 4 まとめ	24
第3章 環境と持続可能性を考慮する必要性	27
3. 1 地球環境問題	27
3.1.1 地球環境問題の現状	27
3.1.2 地球環境問題の背景と特徴	31
3. 2 環境問題への対応と持続可能な発展	33
3.2.1 成長の限界	33
3.2.2 持続可能な発展の考え方	36
3. 3 環境と持続可能性を考慮したモデルへの拡張	38
3.3.1 持続可能な発展へのアプローチ	38
3.3.2 持続可能な発展と都市の持続可能性指標づくり	40
3.3.3 持続可能な発展と持続可能な交通戦略	44
3.3.4 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性	47
3. 4 まとめ	51

第4章 既存の研究と本研究の立場	54
4. 1 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの軌跡	54
4.1.1 土地利用・交通相互作用モデルの軌跡	54
4.1.2 環境と持続可能性の考慮	58
4. 2 既存の研究の問題点と土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向	58
4.2.1 既存の研究の問題点	58
4.2.2 土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向	61
4. 3 本研究の立場	62
第5章 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの構築	66
5. 1 本モデルの構成と特徴	66
5.1.1 本モデルの構成	66
5.1.2 本モデルの特徴	68
5. 2 土地利用モデル	68
5.2.1 立地需要主体数算定モデル	68
5.2.2 立地配分モデル	71
5.2.3 土地供給モデル	74
5.2.4 競合モデル	77
5.2.5 均衡条件	79
5. 3 交通モデル	80
5. 4 環境モデル	81
5. 5 まとめ	83
第6章 モデルの京都市・滋賀県への適用	86
6. 1 対象地域とゾーン区分およびデータの整備	86
6. 2 パラメータの推定結果	90
6.2.1 土地利用モデルのパラメータ推定結果	90
6.2.2 交通モデルのパラメータ推定結果	94
6.2.3 環境モデルのパラメータ推定結果	95
6. 3 モデルの現況再現性と CO ₂ 排出量およびエネルギー使用量の計測	96
6. 4 まとめ	97

第7章 道路交通政策の評価	99
7.1 土地利用・交通相互作用モデルの必要性の検証	99
7.1.1 政策シミュレーションの概要	99
7.1.2 交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響に関する検証	103
7.1.3 土地利用と交通との相互作用による誘発交通に関する検証	123
7.1.4 間接効果の計測	125
7.2 環境と持続可能性を考慮する必要性の検証	132
7.2.1 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性の検証	132
7.2.2 モデルによる TDM 政策の評価	134
7.3 まとめ	136
第8章 結論	138

第1章 序論

1. 1 研究の背景

近年、厳しい財政的制約により、社会的要請の極めて大きい交通施設の整備さえも、そのプロジェクトの採否は峻別を迫られている。特に、道路整備は、一般に大規模な事業であり、巨額の投資を必要とする。また、投資費用の回収には長い年月がかかるため、その期間内に起こり得る各種の社会経済変動によるリスクも多い。そのため、社会経済的な側面から客観的、合理的な手法により、的確な事業評価を行い、事業として採択することの社会経済的な妥当性について評価する必要がある。

道路整備の社会経済的な妥当性について評価することは、各国で行われており、イギリスの COBA (Cost Benefit Analysis) は、新規幹線道路投資評価の必要性について、公共部門の投資財源は限られており、政府は、事業部門間や事業部門内の個別プロジェクトの優先順位に留意し、その投資支出から生みだされる貨幣評価額を客観的に測定しなければならない、としている (DOT, 1993a¹⁾, 1993b²⁾, 1994³⁾)。道路投資に対しては、一般的な意味での財務評価指標を提供することが不可能であるため、費用・便益分析が適用されることになる。そして、COBA に基づく費用・便益分析の結果は、事業計画のプロセス全体を通じて用いられており、現在のところ、COBA による評価は、道路投資評価のための一つの手続きとして位置付けることができる (DOT, 1993a¹⁾, 1993b²⁾, 1994³⁾)。

日本においても、道路投資の事前評価の際に事業実施の妥当性を判断する基準として費用・便益分析が用いられており、それは、道路投資の評価に関する指針(案) 第1編⁴⁾、第2編⁵⁾に示されている。

しかし、COBA や日本の道路投資の評価に関する指針(案)では、プロジェクト評価の簡便性と経済評価の統一性を図るために、ゾーン間の交通量はプロジェクトによっても変化しないものと仮定 (Fixed Trip Matrix assumption) するか、あるいは、重力モデルなどによって推定するものとしている。また、需要の成長は経済成長率やガソリン価格の水準などによって外性的に決定されると仮定して、プロジェクトがもたらす便益を推定することを前提している。すなわち、4段階推定法に基づいた伝統的な交通モデルによって便益を計測している。ところが、これらの交通モデルはいずれも交通が土地利用に及ぼす重大な影響を考慮しておらず、土地利用と交通との間の相互作用は考慮していない。

交通計画において、土地利用と交通との関連性を考慮することは重要である。交通は人、財、情報などの移動を提供し、土地利用は人々がアクセスしたい施設や活動量を物理的に調整することによって、土地利用と交通には相互作用が生じている。土地利用の形態や密度の変化および立地の変更は人々の交通選択、すなわち、目的地、交通機関、交通経路の選択を変化させる。そして、土地利用の変化によって変化した交通選択は再び土地利用の変化を招く。しかし、4段階推定法による伝統的な交通モデルはこのような土地利用への

フィードバックを考慮していない。道路を整備すると、確かに一時的に交通条件が改善されるものの、中長期的には、道路整備に伴う新しい交通状況に基づく社会経済活動の立地が変更され、新たな交通が発生したり、また、生産・販売・集客圏域の変化に応じた活動内容の調整により、交通の変化が生じる。すなわち、交通施設の新設・改良によっては誘発交通が発生する。しかし、既存の4段階推定法に基づいた伝統的な交通モデルはこのような誘発交通を考慮していないため、評価に歪みが生じることになる。また、イギリスのM25の事例からわかるように、渋滞を解消するための道路建設が、所要時間の短縮によって土地利用や人口移動の変化をもたらし、再び渋滞を発生させる可能性がある。そのため、投資効果の事前評価においては、これらの点を考慮した上で、地域内の土地利用変化を予測する必要がある。

なお、土地利用と交通との関連性は都市構造の変化を理解する核心要素である。アメリカでは、鉄道時代まで、都市の居住者の主要な交通手段は徒歩であったため、都市は駅や港を中心としたコンパクトな場所であった。しかし、1920年代からの自動車の普及によって、大勢の人々がより安い土地と住宅を求め、都市の周辺部に移動したため、都市規模の拡張を促進した。1950年代以降、モータリゼーションの進展とともに、産業も都市周辺部に立地し、現在の多核・分散型大都市を形成したが、都市周辺部の成長の促進剤として作用したのは高速道路システムの構築であった。結局、高速道路システムは、コンパクトな都市の概念とはさらに離れるようなネットワークを促進し、都市のスプロールを助長した。また、以後の交通投資はさらに広い地域までアクセスすることを可能にしたため、都市圏は拡張し、住居地は商業地域と工業地域からもっと分離されることになった(1000 Friends of Oregon, 1997)⁶⁾。このようなアメリカの経験的な事例は、交通システムが都市構造形成に重要な役割を果たしていることを示しており、日本においても、東京圏の居住人口の郊外化が進んできた理由は、通勤鉄道のスピード・アップなどの交通システムが及ぼした影響であることは明白である(金本良嗣, 1997)⁷⁾。そのため、交通計画においては土地利用と交通との関連性から、交通投資が都市空間構造に及ぼす影響も考慮しなければならない。特に、交通投資によって既存集積地へさらに立地が進むか、それとも分散が進むかといった問題はますます重要性を帯びてきている。

以上で述べた土地利用と交通との関連性から、数多くの土地利用・交通相互作用モデルが開発されてきた。しかし、実際交通計画において、土地利用・交通相互作用モデルが適用された事例は先進国においても数少ない(Hayashi and Roy, 1996)⁸⁾。交通モデルによる需要予測手法としては、いわゆる4段階推定法が確立され交通計画の中に定着しているが、土地利用・交通相互作用モデルについてはこうした確立化がなされず、土地利用と交通の計画の中に、土地利用・交通相互作用モデルが定着するまでには至っていない。そこで、開発される土地利用・交通相互作用モデルは、理論的整合性を満足しながらも実用性を満足させ、実務レベルまで定着するように寄与しなければならない。

そして、道路投資の評価の際には間接効果を計測し、評価に反映しなければならない。

道路投資の主要な目的は、経済成長を向上させることである。交通費用の節減によって、地域や国家レベルでの競争力を向上させ、経済活動を活発にすることが道路投資の主要な目的の一つである（Mackie, 1996）⁹⁾。これに関連して、OFTP/CS（1993）¹⁰⁾は、利用者便益が道路投資と関連する経済的便益を十分に反映しないため、産業振興や観光などの間接効果も考慮しなければならないと主張した。一般に道路投資の効果は多岐にわたり、大きく直接効果と間接効果に分類される。直接効果とは、第三者を経ずに即時に発生する効果を指し、建設省（現国土交通省）が策定した「費用便益分析マニュアル」において計測対象とされている道路利用者の「走行時間短縮便益」、「走行費用減少便益」、「交通事故減少便益」などは、直接効果に分類される。また、間接効果とは、直接効果を経由して時間的経過を経て発生する効果であり、人口・雇用の増加や税収の増加といった地域経済・財政効果は、間接効果に分類される。ここで、地域社会に及ぼす効果である地域経済・財政効果は地域経済の発展に寄与するものであり、道路投資によりどの程度の地域経済・財政効果がもたらされるかを定量的に評価し、住民に対して評価結果を示すことは、道路投資評価の合理性、客観性、公平性を高め、住民に対するアカウンタビリティを確保するためには必要不可欠であるといえる。

一方、これからの都市計画や交通計画においては、プロジェクトが環境や持続可能な発展に及ぼす影響を定量的に評価し、その結果を計画の段階において十分に反映する必要がある。ローマ・クラブ¹¹⁾が成長の限界を指摘したのを引用するまでもなく、生活基盤である地球環境の破壊とエネルギー資源の枯渇は目前に迫っている。なお、気候変動に関する国際連合枠組条約（COP3）で採択された京都議定書第2条においては、運輸部門における温室ガスの排出を抑制又は削減する措置を要求しており、OECD（1996）¹²⁾は現行の交通システムは持続可能な道を歩んでいないことや自家用車の利用の増大が、大気汚染と地球の気候変化の主な原因であることなどを指摘したうえ、環境質の改善などを求める持続可能な交通のための原則を提案している。これに関連して、Wilson（1997）¹³⁾は、モデルが環境や持続可能性に寄与することの重要性に関して指摘したうえ、社会の変化に伴ってモデルも変化し、モデルは多様な領域に対するインパクトを評価することができるよう適用の範囲を拡張しなければならないと主張した。そこで、土地利用・交通相互作用モデルはその適用の範囲を拡張し、環境質の改善や持続可能な発展に寄与できるように構築される必要がある。

以上のように、本研究の背景を述べたが、要約すると以下のように示すことができる。

- ① 道路整備効果の的確な事前評価の必要性
- ② 土地利用と交通との関連性
 - ・ 交通計画において、土地利用と交通との相互作用による誘発交通の反映の必要性
 - ・ 交通計画において、土地利用と都市空間構造の変化を考慮することの重要性
- ③ 土地利用・交通相互作用モデルを実務レベルまで定着させることの必要性

- ④ 道路投資による直接効果の計測とともに間接効果の計測の必要性
- ⑤ 都市・交通計画において、環境や持続可能性を考慮することの重要性

1. 2 研究の目的

1.2.1 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの構築

都市における土地利用、交通、環境は相互に強く関連しており、発生する問題は多様かつ複雑である。特に、交通分野におけるエネルギー消費量は増加しつつあり、クルマ利用の増大や混雑の深刻化、都市のスプロール化によって、環境はさらに悪化しつつある。これらは経済成長、都市化、モータリゼーションの進展などに起因するものであり、現状分析や将来予測分析を行う際には、その基本的な要素である土地利用、交通、環境を総合的に考慮する必要がある。

これに関連して、OECD (1996) ¹²⁾ は、以下のように主張している。

- ① 交通に関する決定は、環境と健康、エネルギー、都市の土地利用の決定と統合的に行うべきである。
- ② 交通に関しての決定が環境及び社会に与える影響を、それが生じた後に対応しようとするのではなく、あらかじめ予想しておく。
- ③ 交通に関する決定がもたらすグローバルな影響と、地域の社会、経済、環境への影響を考慮する。

しかし、計画担当者や政策決定者は、このような土地利用、交通、環境の関連性を認識していたにもかかわらず、技術的および政治的な理由で、これらを統合的に考慮し計画することはほとんどできなかった (1000 Friends of Oregon, 1997) ¹⁴⁾。

そこで、本研究では、相互に複雑に作用し合う土地利用、交通、環境を総合的に考慮でき、また、統合交通計画を可能とする環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを構築する。そして、交通計画において、土地利用・交通相互作用モデルおよび環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルが適用された事例は先進国においても数少なかったことを考慮して、理論的整合性を満足しながらも実用性を満足させるようにモデルを構築する。さらに、構築したモデルを実際の地域に適用し、その有効性を検討する。

1.2.2 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性の検証

交通計画において、土地利用と交通との間の相互作用は考慮されなければならないと主張されてきた。土地利用と交通との関連性は、都市空間構造の形成を理解するキーポイントであり、政策的にも重要な意味を持っている。そのため、交通投資が土地利用に及ぼす

影響に関する多数の経験的事例が報告された (Baerwald, 1982¹⁵⁾; Giuliano, 1989¹⁶⁾; Knight and Trygg, 1977¹⁷⁾; Muller, 1981¹⁸⁾; Parsons Brinckerhoff, 1996c¹⁹⁾; Stephanedes and Eagle, 1987²⁰⁾)。そして、日本においても同様の影響に関する研究がなされてきた (高橋, 1985²¹⁾; 梶田, 1987²²⁾; 保坂, 1991²³⁾; 中川・西村・波床, 1993²⁴⁾; 小山, 1994²⁵⁾)。

これに関連して、Transportation Research Board (1995)²⁶⁾ は道路整備が都市の土地利用に及ぼすインパクトを次のように示している。

- ① 幹線道路の整備は交通費用の減少や未開発土地に対するアクセスの増加によって分散を助長した。
- ② 幹線道路の容量拡大は、人口や所得の増加、自動車保有の増大、交通費用の減少要求、大都市圏への立地を誘導する土地利用政策と相互関連する。
- ③ 成長中の大都市圏における幹線道路システムの拡張は、交通投資が開発をもっと魅力的にするため、住居立地と雇用の開発に影響を及ぼす。
- ④ 幹線道路の容量拡大は、交通費用を減少させ、スプロールを助長する。特に、この効果は都市周辺部に位置した周辺地域の広い土地に対するアクセスが改善されたとき、より大きくなる。

以上のような土地利用と交通の関連性から、数多くの土地利用・交通相互作用モデルが開発されてきた。

一方、Nijkamp and Perreels (1994)²⁷⁾ が述べたように、近年、環境や持続可能性に関する関心が高まってきて、計画者や政策決定者は、政策が環境に対して及ぼすインパクトを注意深く考慮するように要求されている。

これらに関連して、イギリスでは交通手段間の統合、環境との統合、土地利用との統合、社会経済政策との統合といった統合交通政策を策定しており (社会公共政策研究会, 2000)²⁸⁾、オーストラリアでは土地利用規制によって、交通問題の解決やエネルギーの効率的な使用を図っている (Hayashi and Roy, 1996)⁸⁾。また、環境と持続可能性を考慮した土地利用・交通相互作用モデルも多く開発されてきた。

ところが、1. 1 と 1.2.1 に述べたように、開発された土地利用・交通相互作用モデルおよび環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルが、実際の交通計画において用いられたことは数少ない。

そこで、本研究では、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性を理論的に述べた上で、その必要性を実証的に証明し、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルが実際の交通計画において用いられるように、また、実務レベルまで定着するようにすることを目的とする。

1.2.3 持続可能な社会の実現に向けた方法論の提言

環境とは、人間をとりまき、それと相互作用を及ぼし合うところの外界であり、人類の生存・生活の条件を形成している(植田, 1996)²⁹⁾。しかしながら、人類はこれまで、そのとどまるところを知らぬ経済活動の拡大や開発の過程において、成長の限界や環境の有限性について十分な配慮を行ってこなかった結果、環境問題は、地球規模で深刻になっており、我々の経済活動や開発自体が、人類の存在基盤である環境の状態を左右するものとなり、翻って我々人類の生存自体が脅かされるに至っている。

これに関連して、1972年に公刊されたローマ・クラブの「成長の限界」¹¹⁾は、システム・ダイナミクス・モデルによる予測と分析により、幾何級数的な成長には限界があり、人類は限りある地球を破壊する危機に面していると警告した。それを避けるためには、成長を計画的に抑制すべきで、破局を招くことがない持続性と基本的な物質的要求を充足させる能力をもつ「よりよい」均衡状態における成長を目指すべきだと述べた。それから20年後の1992年に、前著が極めて衝撃的であったにも拘わらず、その時の指摘よりも早く資源の枯渇や汚染のフローが既に持続可能な限界を超えているという意味で、「限界を超えて」³⁰⁾が出版された。そこでは、前著の均衡状態と同じような意味であるが、持続可能なシステムへの移行を説いている。また、成長(growth)には限界があるが、質的な変化や改善を内包する発展(development)には限界がないと述べた。なお、World Commission on Environment and Development (WCED, 1987)³¹⁾も、自然と社会の持続可能性を低下させる成長パターンに対する深い反省から、今後地球的な規模で環境と開発のあり方を考える概念として、また、これまでの成長パターンに代るべき発展パターンとして、持続可能な発展の考え方を提示した。その後、持続可能な発展は、その概念について多くの検討が加えられ、また、多くの解説が試みられて、様々な問題を内包する地球環境問題に対する解決のための中心的な理念となってきた。そして、ようやく1992年6月リオ宣言で、持続可能な発展は、「新しい、公平なグローバルパートナーシップ」の目標として設定された。

しかしながら、持続可能な発展を可能とする方法論は体系化されておらず、実際に目標達成の度合いを測る指標体系も確立されていない。特に、現在の地球環境問題が地域レベルでの汚染の集積の結果であるにもかかわらず、その根本的な原因を提供している地域レベルでは、地球的観点を取り入れた対応策とその基盤となる計画論は整備されていない。また、この問題は、人類が生活しているすべての分野と直間接的にかかわる問題にもかかわらず、各分野においても地球的観点を取り入れた政策や計画は構築されていない。

そこで、本研究では、地球レベルでの持続可能な発展と密接な相関関係がある地域レベルおよび交通分野から、持続可能な発展のための方法論を提示する。そして、提示した方法論に対する環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの寄与度を考察する。

1. 3 研究の構成

本研究の構成は、図 1.3.1 に示す通りである。

第2章では、土地利用・交通相互作用モデルの必要性を、土地利用と交通との相互作用による誘発交通、交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響、道路投資による間接効果、の3つの観点から理論的に述べる。

第3章では、現在の地球環境問題やローマ・クラブが指摘した成長の限界に関する問題、そして、これらの問題に対して解決の中心的な理念となっている持続可能な発展に関して考察した後、持続可能な発展の実現に向けた方法論を提示する。さらに、環境と持続可能性へその範囲を拡張した土地利用・交通相互作用モデル（以下、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデル）の必要性を、地球環境問題と成長の限界、持続可能な発展論、土地利用・交通・環境の相互関連性、費用便益分析、の4つの観点から述べる。

第4章では、従来の環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの軌跡を示すとともに、既存研究の問題点および土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向に関して述べる。そして、本研究の立場について述べる。

第5章では、第3、4章で示した持続可能な発展の実現に向けた方法論、既存研究の問題点、土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向などを踏まえて、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの構築を行う。

第6章では、第5章において構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを京都市・滋賀県地域に適用し、構築したモデルのパラメータ推定を行うとともに、そのモデルの現況再現性の検証を行う。さらに、構築したモデルを用いて現況のCO₂排出量などの環境指標を計測する。

第7章では、第2、3章で指摘した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性に対する理論的主張を、構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いた道路交通政策の効果計測を行うことによって実証的に検証する。さらに、道路整備とTDM政策との比較を行い、TDM政策が持続可能な発展の実現に向けて非常に有効な政策であることを証明する。

最後に、第8章では、第7章までの結果を踏まえて、結論を述べる。

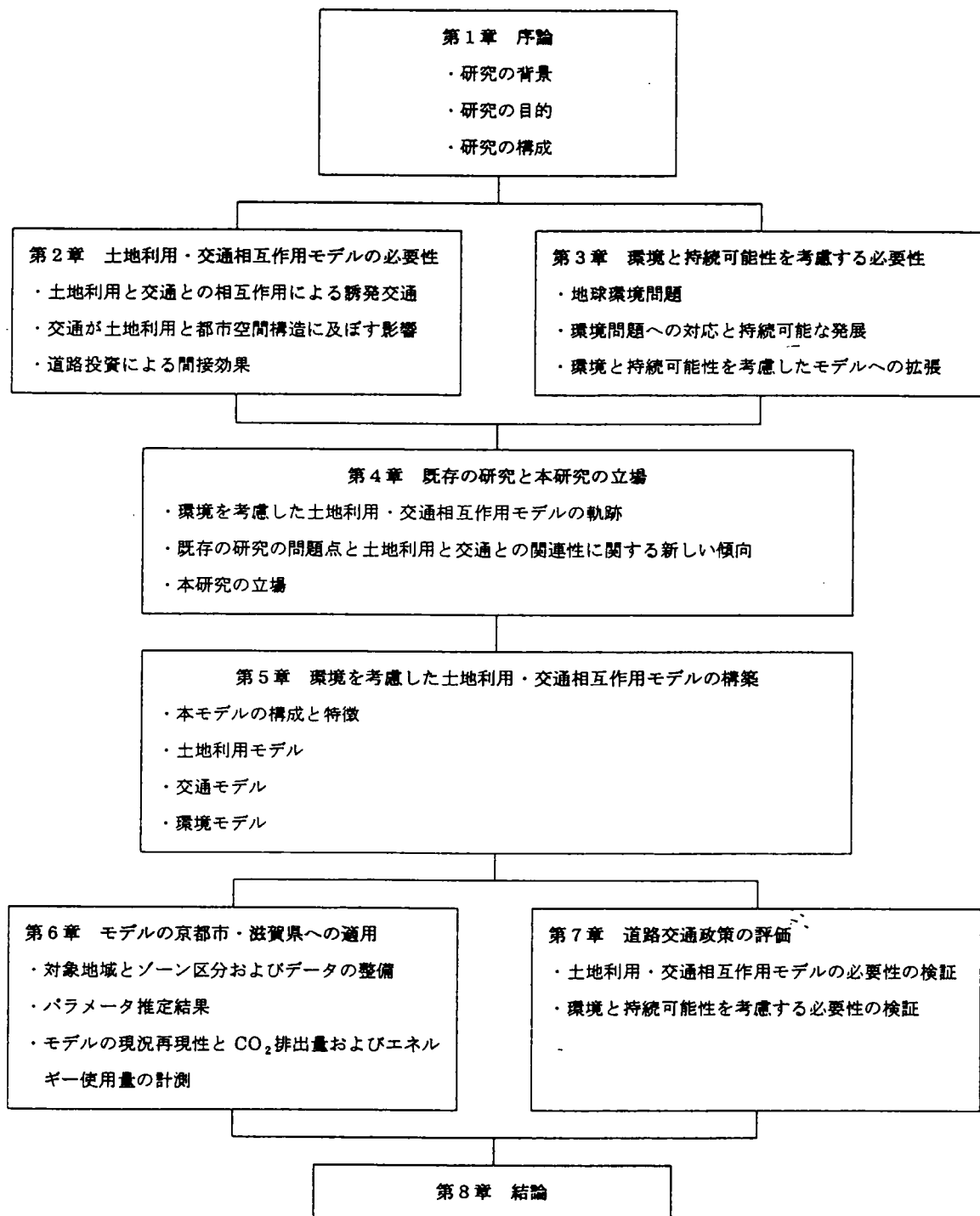


図 1.3.1 本研究の全体構成

[第1章参考文献]

- 1)Department of Transport (1993a) COBA 9 Manual. Highways Economics and Traffic Appraisal Division.
- 2)Department of Transport (1993b) Design Manual for Roads and Bridges, Vol.11, Environmental Assessment.
- 3)Department of Transport (1994) Design Manual for Roads and Bridges, Vol.13, Economic Assessment of Road Schemes.
- 4)道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資の評価に関する指針(案) 第1編 経済評価, 財団法人 日本総合研究所, 1998.
- 5)道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資の評価に関する指針(案) 第2編 総合評価, 財団法人 日本総合研究所, 2000.
- 6)1000 Friends of Oregon (1997) Making the Land Use, Transportation and Air Quality Connection (LUTRAQ), Vol.8, Making the Connections: Technical Report.
- 7)金本良嗣：都市経済学, 東洋経済, 1997.
- 8)Hayashi and Roy (1996) Transport, Land-Use and the Environment. Kluwer Academic Publishers.
- 9)Mackie P.J. (1996) Induced traffic and economic appraisal. Transportation 23, 103-119.
- 10)Oscar Faber TPA/Cambridge Systematics (1993) The Assessment of the Economic Development Impact of Road Infrastructure. Report to Scottish Office.
- 11)Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. & Behrens W.W.III, 大来佐武郎訳, 成長の限界, ダイヤモンド社, 1972.
- 12)OECD (1996) Towards Sustainable Transportation. OECD Vancouver Conference.
- 13)Wilson A.G. (1997) Land-use/transport interaction models. Journal of Transport Economic and Policy 32(1), 3-26.
- 14)1000 Friends of Oregon (1997) Making the Land Use, Transportation and Air Quality Connection (LUTRAQ), Vol.7, Making the Connections: A Summary of the LUTRAQ Project.
- 15)Baerwald T.J. (1982) Land use change in suburban clusters and corridors. Transportation Research Record No.891, pp.7-12.
- 16)Giuliano G. (1989) New directions for understanding transportation and land use. Environment and Planning A21, 145-159.
- 17)Knight R. & Trygg L. (1977) Evidence of land use impacts of rapid transit systems. Transportation 6, 231-248.
- 18)Muller P. (1981) Contemporary Suburban America. Edgewood Cliffs, NJ:

Prentice-Hall.

- 19)Parsons Brinckerhoff Quade and Douglas (1996c) Public Policy and Transit Oriented Development: Six International Case Studies. Transit and Urban Form, TCRP Report 16, Vol.2, Washington, DC: Transportation Research Board.
- 20)Stephanedes Y.J. & Eagle D. (1987) Highway impacts on regional employment. Journal of Advanced Transportation 21, 68-79.
- 21)高橋 彌：名神高速道路と地域社会の変貌，道路，Vol.533, pp.10-15, 1985.
- 22)畠田博行：高速道路インターチェンジ周辺の工業・観光開発，道路，Vol.556, pp.12-16, 1987.
- 23)保坂邦夫：道路整備と産業立地，道路，Vol.609, pp.7-10, 1991.
- 24)中川 大・西村嘉浩・波床正敏：鉄道整備が市町村人口の変遷に及ぼしてきた影響に関する実証的研究，土木計画学研究・論文集，No.11, pp.57-64, 1993.
- 25)小山 徹：高速道路と地域開発効果，道路，Vol.640, pp.8-12, 1994.
- 26)Transportation Research Board (1995) Expanding Metropolitan Highways: Implications for Air Quality and Energy Use. Special Report No.245. Washington, DC: National Academy Press.
- 27)Nijkamp P. & Perrels A. (1994) Sustainable Cities in Europe. Earthscan Publications Ltd, London.
- 28)社会公共政策研究会：社会公共政策への提言，(株)日本工業新聞社，2000.
- 29)植田和弘：環境経済学，岩波書店，1996.
- 30)Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., 茅 陽一訳，限界を超えて，ダイヤモンド社，1992.
- 31)World Commission on Environment and Development (WCED) (1987) Our Common Future. Oxford: Oxford University Press.

第2章 土地利用・交通相互作用モデルの必要性

本章では、土地利用・交通相互作用モデルの必要性を、土地利用と交通との相互作用による誘発交通、交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響、道路投資による間接効果の、3つの観点から理論的に述べる。

土地利用と交通との相互作用による誘発交通に関しては、誘発交通の概念を述べた後、土地利用の変化による誘発交通を考慮しないと利用者便益の評価に歪みが生じることを理論的に分析する。また、混雑している経路の混雑を緩和するために道路を整備したことが、中長期的な土地利用の変化による誘発交通によって、逆にその経路の混雑を悪化させる可能性があることを示す。

交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響に関しては、道路システムの拡大が理想的なコンパクトな都市構造をもたらすことなく、都市の広域化およびスプロールを助長する可能性があることを経験的な事例から立証する。さらに、スプロールによる悪影響に関して分析する。

道路投資による間接効果に関しては、道路整備による影響と道路整備の波及効果を示した後、間接効果計測の必要性を述べる。

2. 1 土地利用と交通との相互作用による誘発交通

2.1.1 誘発交通の概念

誘発交通は、交通施設の新設・改良によって新たに発生した交通で、それ以前にはいかなる形でも存在しなかったものである。誘発交通を考えない場合には、既存交通だけが分析対象であり、既存交通についての一般化費用の低下が利用者便益となり推定は容易である。しかし、道路投資により当該道路区間の一般化費用が低下した場合には、交通需要者がその新しい条件の情報に基づいて合理的な意思決定を行うとすれば、次のような様々な交通行動の変更が単独に、あるいは複合して同時に行われる（DOT, 1993a）¹⁾。

- ① 再配分（転換交通）：新しい、より一般化費用の安い経路への転換
- ② 再分布（集中地点の変更）：新設道路を使って、より遠くの商店街で買物をするなど、
交通の集中地点の変更
- ③ トリップの発生：移動頻度の増加や新たな移動の発生
- ④ 交通手段の変更（転移交通）：鉄道から高速道路への交通手段の変更など
- ⑤ 日時の変更：渋滞緩和などによる移動時刻の変更など

さらに、起こる変化として注意しなければならないのが、住居や商店、企業、工場、倉

庫などの活動の立地変更である (Mackie, 1996)²⁾。道路整備に伴う交通条件の変化に基づいて、社会経済活動の立地が変更され、新たな交通が発生する。これらの様々な交通行動の変化は、すべてが誘発交通と呼ぶことができる性質のものである。誘発交通に関しては多くの経験的証拠が報告されており (Goodwin, 1996³⁾; Noland, 2001⁴⁾; 児玉, 1987⁵⁾; 佐々木, 1988⁶⁾; 服部, 1994⁷⁾)、これらは、道路整備が行われた場合、交通需要者が一般化費用の減少の便益を受けようとしたため発生したものである。

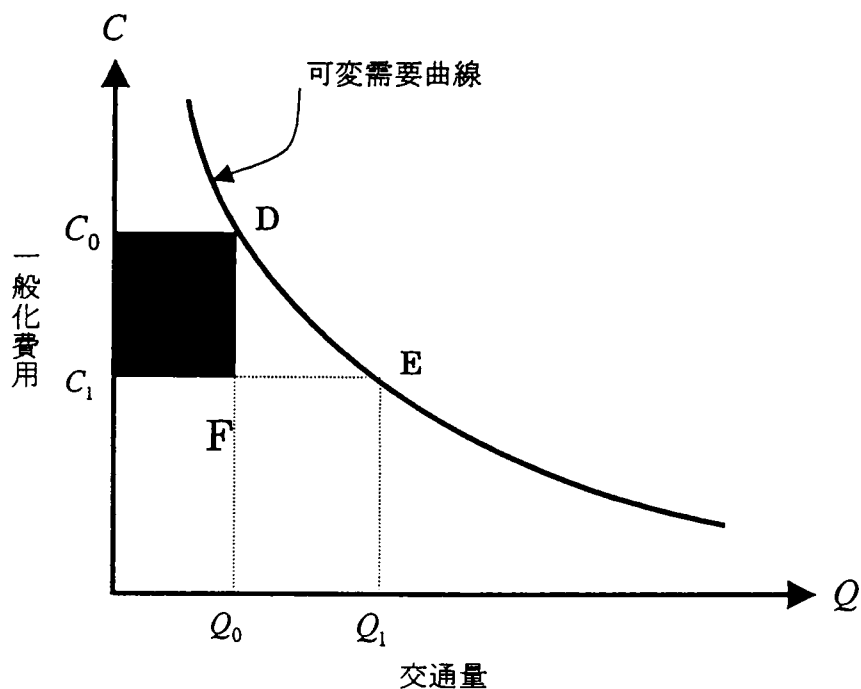


図 2.1.1 一般化費用の変化に伴う需要の変化

図 2.1.1 は、上で述べた①～⑤の交通行動の変化によって需要が弾力的に反応した場合の一般化費用の減少便益を示している。

ここで、一般化費用の低下による OD 間の利用者便益は、 C_0DEC_1 の面積であるが、この便益は二つに分類して考えることができる。一つは、既存交通量 Q_0 に基づいた便益 C_0DFC_1 、そしてもう一つは、一般化費用の減少によって新たに発生した誘発交通量 $Q_1 - Q_0$ が受ける便益 DEF である。このとき、一般化費用の変化が大きくない場合には、需要曲線が線形であると仮定することができる (Mackie, 1996)²⁾。これによって、利用者便益の合計は、以下のように求めることができる。

$$(C_0 - C_1)Q_0 + \frac{1}{2}(C_0 - C_1)(Q_1 - Q_0) = \frac{1}{2}(C_0 - C_1)(Q_1 + Q_0)$$

この公式は、いわゆる半分の法則 (rule of a half) と呼ばれるものであり、1970年代から使用され、現在は便益の推計の際に、幅広く利用されている (道路投資の評価に関す

る指針(案) 第1編, 1998) ⁸⁾。しかし、この公式は誘発交通の一部を含めているが、誘発交通の全部、また、土地利用変化による誘発交通は考慮していない。そこで、交通予測の中に誘発交通が適切に含まれているかということと、予測の中に誘発交通が適切に含まれていない場合には便益評価にどのような歪みが生じるのかというのが、利用者便益の評価において課題となる。

2.1.2 利用者便益と誘発交通

図 2.1.2 は、一般化費用の変化に需要が反応しない場合、すなわち、需要曲線が非弾力的な場合の利用者便益を示している。この場合、供給条件とは関係なく現行の起点と終点とを一括した OD 表はプロジェクトによって変化しないものと仮定 (*Fixed Trip Matrix assumption*) するのは、妥当性がある。すなわち、誘発交通が発生しない場合、FTM 仮定は、便益を正しく評価できる。

しかし、道路投資により当該道路区間の一般化費用が低下した場合、交通需要者はその新しい条件の情報に基づいて合理的な意思決定を行い、一般化費用の減少の便益を受けようとする。そのため、需要曲線は弾力的に変化する。図 2.1.3 と図 2.1.4 は需要曲線が弾力的に変化する場合の利用者便益を示す。

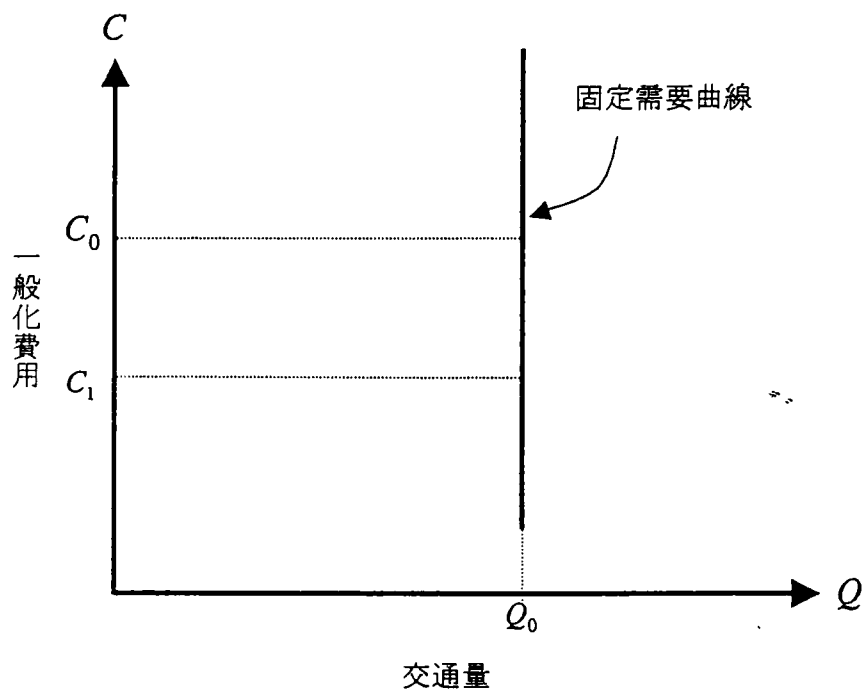


図 2.1.2 一般化費用の変化と無関係の需要

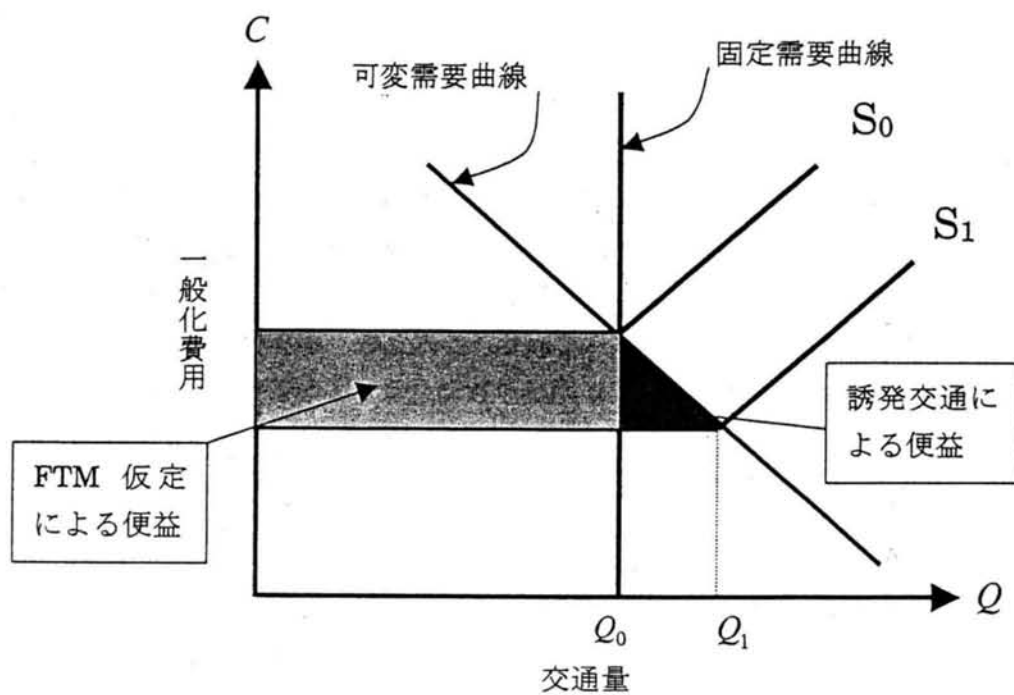


図 2.1.3 誘発交通に伴う追加的便益

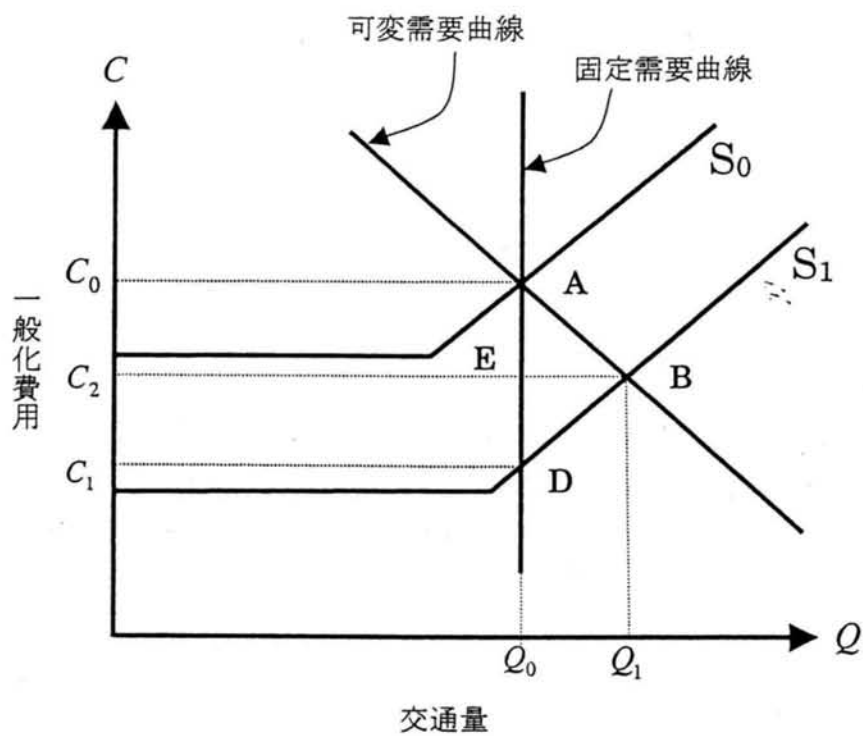


図 2.1.4 誘発交通に伴う便益の損失

図 2.1.3 は、道路投資により供給曲線が S_0 から S_1 に下方シフトした場合、FTM 仮定で計測された利用者便益が、誘発交通による利用者便益を除いているため、便益を過小評価することを表す。COBA9 マニュアルは、図 2.1.3 で示している誘発交通による便益が FTM 仮定で計測された利用者便益の 10% 以内であると主張している。

図 2.1.4 は、固定 OD 表をベースに誘発交通を考慮しないで便益評価を行った場合、利用者便益が過大評価される場合を示している。道路投資により供給曲線が S_0 から S_1 に下方シフトした場合の均衡交通流は、誘発交通がないとした場合には D 点、ある場合には B 点である。したがって、それぞれの利用者便益は誘発交通なしとした場合には、 C_0ADC_1 であり、誘発交通がある場合は、 C_0ABC_2 である。このため、誘発交通を無視した便益評価では、誘発交通に伴う便益のうち、ABE が過小評価されると同時に、既存交通に伴う便益のうち、 C_2EDC_1 が過大評価され、便益評価に歪みが生じることになる。

例えば、道路投資により容量が拡大された後でも渋滞が残るような状況であり、次のような状況で問題となることが指摘されている（道路投資評価研究会, 1997）⁹⁾。

- ・ 道路ネットワークが、交通容量に近い状況で使われている場合。
- ・ 渋滞により抑制された（潜在的）トリップがあり、ネットワーク改善により解放される場合に見られるように、旅行時間や費用の変化に対する移動者の反応が大きい場合。
- ・ 交通投資事業が、大きな交通費用の減少をもたらす場合。

ところが、図 2.1.3 と図 2.1.4 のような状況の場合、すべての交通手段を含むパーソン・トリップをベースとした 4 段階推定法により、部分的には誘発交通を含めて交通量を推定することができる。問題は既存の 4 段階推定法によって推定されない誘発交通量である。すなわち、道路整備による一般化費用の減少によって、商業や工業あるいは住居の立地が変更され、新たに発生する誘発交通量が問題となる。イギリスの M25 の場合、誘発交通のうち転換交通や転移交通に関しては考慮したものの、活動量の立地変更による新たな交通の発生、すなわち、土地利用の変化による誘発交通を考慮しなかったことが、実際交通量が予想交通量をはるかに上回って道路が混雑になった重要な原因であった（Tomita et al, 1999）¹⁰⁾。

図 2.1.5 は、道路投資による土地利用変化が交通に及ぼすインパクトを示している。道路投資により、商業や工業あるいは住居の立地が変更され、人口や雇用が増加すると、既存の与えられた一般化費用に対する交通需要より多くの交通需要が発生するため、需要曲線は D_1 から D_2 にシフトし、均衡交通流は B 点から F 点にシフトする（Noland, 2001）⁴⁾。そして D_3 は、そのときの一般均衡需要曲線である。したがって、利用者便益は、土地利用変化による誘発交通を考慮しなかった場合は、 C_0ABC_2 であり、誘発交通を考慮した場合には、 C_0AFC_3 である。このため、道路投資による土地利用変化によって新たに発生した誘発交通を考慮しなかった場合には、便益評価に大きな歪みが生じることになり、土地利

用変化による誘発交通量の増加が大きい場合には、利用者便益が過大評価される可能性が高い。

そこで、利用者便益の評価においては、道路投資が土地利用に及ぼす影響を考慮しなければならない。

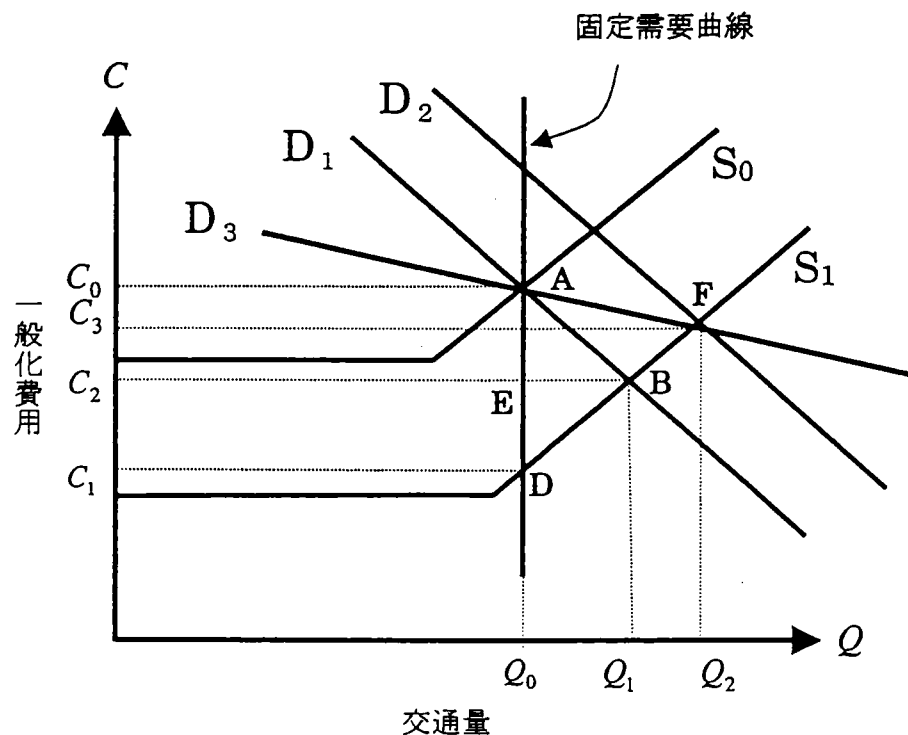


図 2.1.5 土地利用変化による誘発交通に伴う便益の損失

ところが、土地利用変化による誘発交通が及ぼす影響は、先ほど述べた利用者便益の損失よりもっと深刻になることもある。Mogridge (1997)¹¹⁾は、図 2.1.6 に示すような Downs-Thomson のパラドックスと関連して、混雑している経路の道路混雑を緩和するために道路投資をしたことが、自動車交通と公共交通（例えば鉄道）の相互作用に伴って、逆により混雑になる可能性に関して指摘している。しかし、混雑している経路の道路投資によって、逆により混雑になる可能性は、土地利用と交通との相互作用によっても生じる。これは、混雑している経路の道路混雑を緩和するために道路投資をしたことが、中長期的には、土地利用と交通との相互作用によって活動量の立地が集中し、図 2.1.5 における需要曲線 D_2 がさらに上方シフトすることから説明できる。そこで、都市地域における交通計画においては、土地利用と交通との相互作用を考慮する必要がある。

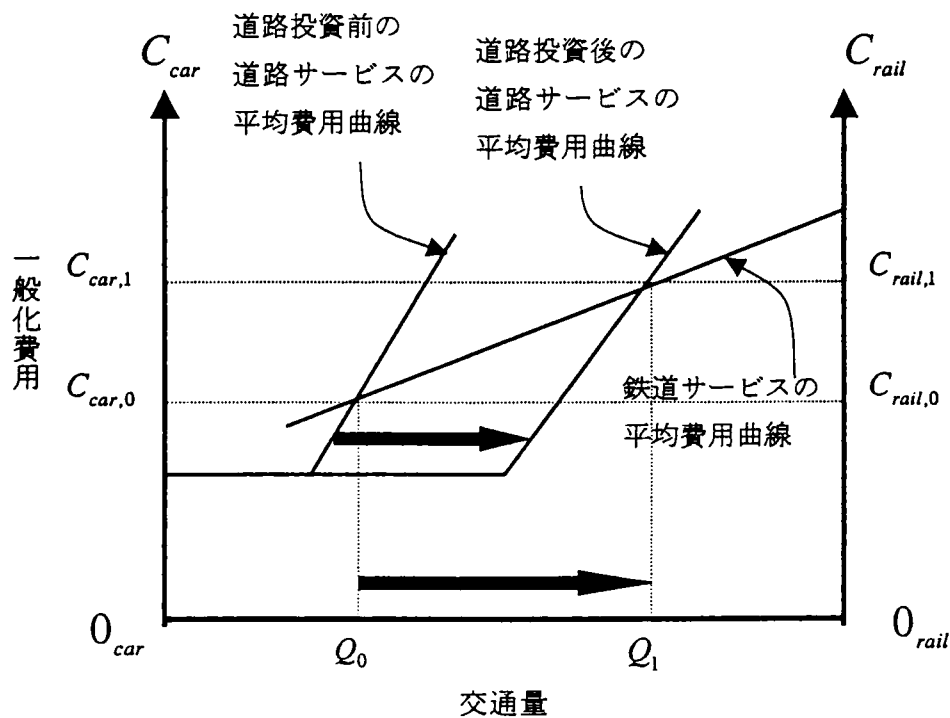


図 2.1.6 Downs-Thomson のパラドックス

2. 2 交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響

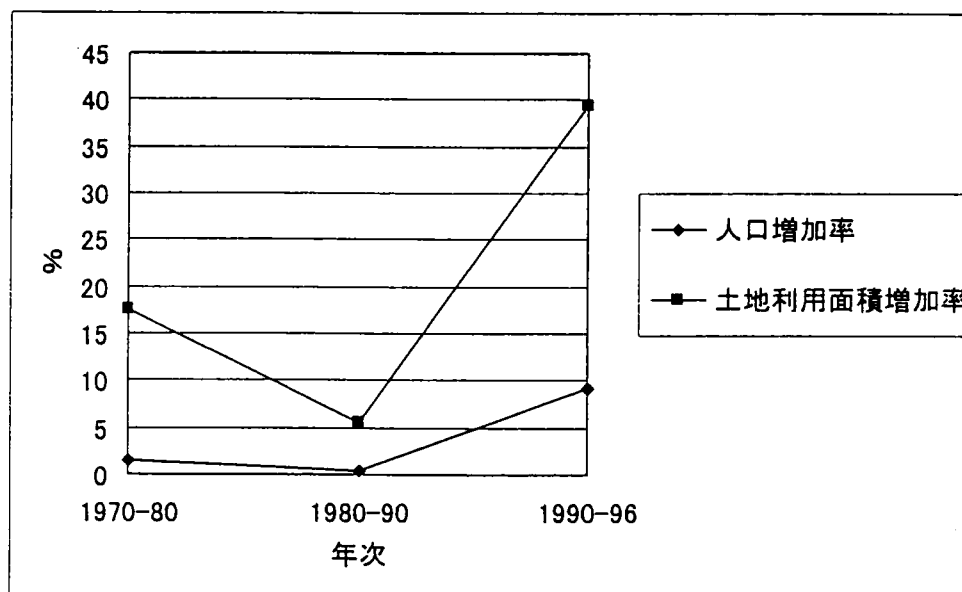
2.2.1 交通とスプロール

交通は土地利用と都市構造形成に重要な役割を果たしている。交通ネットワークの変化は交通費用を減少させ、アクセシビリティを増加させるが、未開発地域へのアクセスが改善されると、未開発地域の土地の開発を促進させるとともに、既存の開発地域の土地利用を住居などの低いレベルの利用から商業・業務などの高いレベルの土地利用に変換させる。これは、大都市圏において一般的に見られる現象であり、都市周辺部への交通投資は、都心部と周辺部との間の交通費用を減少させ、周辺部地域の開発を促進し、スプロールを助長する。すなわち、都市周辺部への交通投資は、周辺部への住居などの移動を促進し、その後、産業も後を追って都市周辺部に立地し、雇用も都市の周辺部地域で成長することとなる。このような現象の代表的な事例がアメリカのカンサスシティ (Kansas City) である。カンサスシティは都市のスプロール化によって 1960 年から 1990 年までの 30 年間で、人口は 29% 増加したが、土地利用面積は 110% まで増加することとなった (Mid-American Regional Council, 1993)¹²⁾。また、アメリカ全国的には、1950 年、大都市圏の人口の 70% が都心部で住んでいたが、1990 年、周辺部に人口の 60% が住むこととなった (Rusk, 1993)¹³⁾。

表 2.2.1 大都市圏における人口成長と人口密度の変化 (1950-1990)

都市圏	人口成長	人口密度の変化
New York	30%	-45%
Chicago	38%	-38%
San Francisco	80%	-41%

出典) Cox (1996) ¹⁴⁾



出典) Vijayan (2000) ¹⁵⁾

図 2.2.1 シカゴシティ (Chicago City) における人口と土地利用面積の変化

表 2.2.1 は、1950年から1990年まで、アメリカの代表的な大都市圏における人口成長と人口密度の変化を比較したものであるが、都市の土地利用はコンパクト化ではなく、スプロール化したことがわかる。

これに関連して、Moore and Thorsnes (1994) ¹⁶⁾ は、この時期のアメリカの土地開発パターンに対して、決定的な役割を担当したのは高速道路システムであると主張した。すなわち、都市周辺部の成長の一番大きな促進剤として作用したのは高速道路システムであり、高速道路システムの構築によって、スプロールが助長され、土地利用面積とクルマ利用の増加は、人口の増加より非常に早かったということである (Federal Highway Administration, 1993) ¹⁷⁾。図 2.2.1 は、シカゴシティ (Chicago City) における人口と土地利用面積の増加を示しているが、1990年から1996年までの6年間、人口は9%増加にとどまったが、土地利用面積は35%増加し、スプロールが非常に早く進行していることがわかる。そして、表 2.2.2 は、1989年から1994年まで、大都市圏における人口と日当たり走行距離 (Daily Vehicle Miles Traveled) の変化を示しているが、都市のス

スプロール化によって、日当り走行距離も増加したことがわかる。

表 2.2.2 大都市圏における人口と日当り走行距離の変化 (1989-1994)

都市圏	人口の変化	日当り走行距離 (Daily VMT) の変化
New York	2.3%	4.6%
Los Angeles	7.0%	5.2%
Chicago	5.5%	22.2%
San Francisco	7.1%	3.9%
Dallas-Ft. Worth	6.4%	25.2%
Houston	4.8%	4.2%
Phoenix	14.1%	32.1%
Seattle	13.8%	11.4%
Denver	3.4%	30.3%
Portland-Vancouver	11.6%	19.2%
Sacramento	15.8%	11.6%
Las Vegas	148.3%	59.3%
Spokane	7.6%	29.0%

出典) Federal Highway Administration (1990¹⁸⁾, 1995¹⁹⁾)

2.2.2 スプロールのインパクト

2.2.1 で述べたように、道路システムの拡大は、都市の無計画的な周辺地域への拡散、すなわち、スプロールを助長する可能性がある。ところが、問題は、スプロールそのものではなくスプロールによる悪影響である。スプロール現象が起きることによって、公共サービスの供給においては、公共サービスのコストが高くなってしまい、環境やエネルギーの面においても、日当り走行距離の増加によって環境悪化やエネルギー消費量の増加を招くなど、スプロールの影響は深刻である。以下に、スプロールによる影響を示す。

- ・ 公共サービスのコストの増加：道路や上下水道、学校システムなど、公共サービスの供給において、規模の経済を享受できないことから、公共サービスのコストが高くなってしまう。
- ・ 土地価格の上昇：スプロールと関連して開発された土地は、コンパクトな開発パターンより、多くの土地が使用されるため、全体的な土地価格はコンパクトな開発パターンより上昇することとなる。
- ・ 農地の開発：スプロールは自然資源である農地や森林などの開発を招くことから、自然破壊に寄与する。

- ・ 地域社会意識の欠如：スプロールは凝集力ある地域社会形成を阻む。
- ・ 環境汚染の増加：スプロールは日当り走行距離の増加を招き、大気汚染の悪化を促進させる。また、スプロールは不浸透土地面積を増加させることによって、地下に吸収されないで流れる雨量を増加させ、水質悪化の原因となる。
- ・ 都市の中心部の衰退：住居や商店、企業などの周辺部への移動は、都市中心部の衰退を招く。

一方、Transit Cooperative Research Program (TCRP, 1998)²⁰⁾ は、表 2.2.2 と 2.2.3 に示されている日当り走行距離の増加、公共交通利用の減少などは、道路システムの拡張によって助長されたスプロールと強く関連していると主張した。すなわち、道路システムの拡張によって助長されたスプロールは、道路交通に影響を及ぼすことを主張した。以下には、スプロールが交通に及ぼす影響を示す。

- ・ 日当り走行距離の増加：スプロールは、土地の混合利用 (mixed-use) より、住居地域、商業地域、工業地域といった土地の分離利用を促進し、その結果、コンパクトな開発パターンよりも日当り走行距離を増加させる。
- ・ 旅行時間の増加：短いトリップを可能とし、複合的な目的に寄与できる土地の混合利用開発、あるいは、コンパクトな開発パターンより、スプロールは旅行時間を増加させる。
- ・ 自動車利用の増加：周辺部に住む人々は、土地の用途分離と公共交通の不便さによって都心部の人々より自動車に対する依存度が高くなる。
- ・ 公共交通の非効率性：スプロールは、トリップの発生・集中を分散させ、公共交通の効率性を低下させる。

表 2.2.3 アメリカにおける通勤交通手段の割合の比較 (1980&1990)

交通手段	1980	1990	変化
Driving Alone	64.4%	73.2%	13.7%
Carpooling	19.7%	13.4%	-32.0%
Public Transit	6.4%	5.3%	-17.2%
Other Modes	1.6%	1.3%	-18.8%
Walking or Working at Home	9.5%	6.9%	-27.4%

出典) Pisarski (1992)²¹⁾

以上のように、都市圏における道路システムの拡大は、理想的なコンパクトな都市空間構造をもたらすことなく、スプロールを助長する可能性が高い。さらに、スプロールは、

公共サービスのコストの増加や環境悪化、自動車交通の増加など様々な問題を発生させるため、交通計画においては、土地利用と都市空間構造形成、特に、スプロールを助長するかどうかを考え、土地利用と交通との相互作用を考慮しなければならない。

2. 3 道路投資による間接効果

道路投資は、その道路の利用者はもちろん、社会各般にわたって、広汎かつ多様な影響をもたらす。したがって、その分類も、よって立つ視点により様々である。

表 2.3.1 道路投資による影響の分類

受益の直接性	受益者	受益内容	
直接効果	道路利用者	道路利用	走行時間短縮・走行費用減少
			交通事故減少
			定時性の確保
			走行快適性の向上
			走行安全性の向上
	沿道 及び 地域社会	環境	大気汚染
			騒音
			振動
			地球環境
		住民生活	道路空間の利用
			災害時の代替路の確保
			生活機会・交流機会の拡大
			公共サービスの向上
			人口の安定化
間接効果		地域経済	新規立地に伴う生産増加
			財・サービス価格の低下
			雇用・所得増大
			資産価値の向上
			建設事業による需要創出*
	公共部門	財政の安定	租税収入

*はフロー効果

出典) 道路投資の評価に関する指針(案) 第1編(1998) ⁸⁾

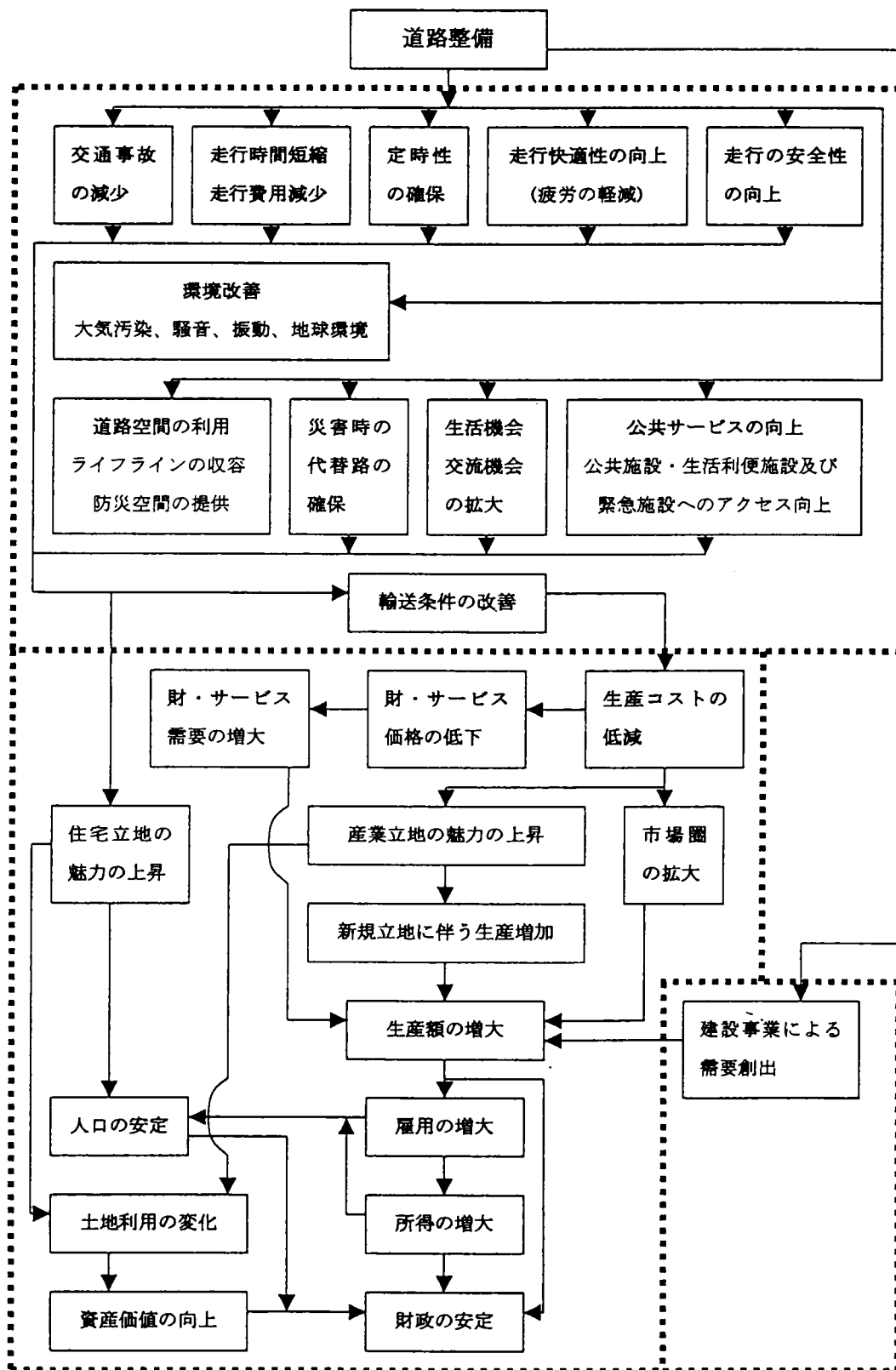


図 2.3.1 道路整備効果の波及効果

本研究では、その効果を道路のもたらす影響の波及の流れにより直接効果と間接効果に分けて表すことにする。ここで直接効果とは、道路の供用から直接的に発生する効果を指し、間接効果とは、道路の供用から間接的に発生する効果であり、経済活動の相互作用によって発生する。これらの影響は様々な主体に及ぶ。ここでは、これを、表 2.3.1 に示すように、道路利用者、沿道および地域社会、公共部門に分けて示している。

さらに、地域に生じる経済的影響は、道路の建設事業によって生じるいわゆる需要創出効果（フロー効果）と、道路が完成し道路サービスが開始されたのち生じる施設供用効果（ストック効果）に分けて考えることもできる。

これらの効果のうち、地域社会に及ぼす効果である、地域経済効果は地域経済の発展に寄与するものであり、道路投資によりどの程度の効果がもたらされるかを定量的に評価し、住民に対して示すことは、道路投資評価の合理性、客観性、公平性を高め、住民に対するアカウンタビリティを確保するためには必要不可欠であるといえる。図 2.3.1 に示すように、道路投資によって利用者が受ける効果は、道路交通システムの内部にとどまらず、経済社会の多方面に波及して行く。

産業面では、道路投資によって、これまで参入していなかった地域の市場へ進出できるようになり、出荷先の地理的範囲（市場圏域）が拡大して以前よりも生産が増加し、利潤の増大につながる。特に、小売業やサービス業のように、その立地場所まで顧客が道路を利用して出向く場合には、顧客が交通費用を負担しているため、道路投資によってそれが節約されると以前よりも遠方から顧客を集めることができる。このように顧客を獲得できる地理的範囲は商圈と呼ばれ、道路投資によりそれが拡大することで小売業やサービス業なども効果を受けることになる。

このように産業活動の優位性が享受できる地域では、立地上の魅力が増し、新規の産業立地が実現し、地域内の雇用の増大、すなわち地域経済効果につながる。

生活面では、住民は道路の利用に費やす時間や費用が節約されることによって、以前よりも行動範囲が拡大し、新たなレジャーや余暇活動などの機会を享受したり、あるいは以前よりも頻繁に享受できるという効果を受ける。このような生活面での効果が享受できる地域は、住民が定住するうえでより魅力的になり、また、先述した産業開発効果に伴う雇用の増大と相まって、人口の増加・定着に寄与する。

以上のように、道路投資による大きな効果が享受できる地域には、住民や産業が多く立地しようとし、それに伴って土地需要が増加する。したがって、道路投資による効果の多くは土地利用の変化や地価の上昇といった形で顕在化することになり、そのような場所に土地を持つ土地所有者は土地資産価格の増加という大きな効果を享受することになる。

また、人口・企業数の増加は地方公共団体が得る住民税や法人税の増収につながり、土地資産価格の増加は固定資産税の増収をもたらし、財政効果を発生させる。税の増収によって地方公共団体の財源が拡大すれば、それを生活関連や産業関連の様々な公共施設の整備に充てたり、福祉・教育関係の公共サービスの充実に向けることもできる。それは、地

域の生活機会や生産活動の効率性を向上させ、地域の厚生水準の向上に寄与することになる。

そこで、道路投資においては種々の影響が経済社会に及ぶことを考慮し、道路利用者便益のほか、その効果が波及することにより生じる地域経済および財政効果などの間接効果についても評価する必要がある。これに関連して、OFTP/CS (1993)²²⁾は、利用者便益が道路投資と関連する経済的便益を十分に反映しないため、産業振興や観光などの間接効果も考慮しなければならないと主張した。なお、道路投資評価研究会(1997)⁹⁾は、都市間道路では利用者便益のほか、この効果が波及して生ずる地域の生産増加、雇用の増加などの地域開発効果、あるいは、医療・教育など地域社会への影響、環境、エネルギー、交通安全、災害時の信頼性など広範にもたらす影響が評価されるべきであると主張した。

ところが、既存の交通モデルによってはこのような間接効果の計測は不可能であり、また、これを計測するためには、再び地域要因を考慮した計量経済モデルなどの構築が必要であるが、交通モデルとの整合性が問題となる。しかし、土地利用・交通相互作用モデルを利用すると、2. 1および2. 2に示した道路投資による誘発交通や道路投資が都市空間構造形成に及ぼす影響と相まって間接効果を計測することができる。また、交通モデルとの整合性にも矛盾は生じない。そこで、交通計画においては、土地利用と交通との関連性を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを構築し、交通投資の評価を行う必要がある。

2. 4 まとめ

本章では、土地利用・交通相互作用モデルの必要性を、土地利用と交通との相互作用による誘発交通、交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響、道路投資による間接効果、の3つの観点から理論的に述べた。

土地利用と交通との相互作用による誘発交通においては、道路投資により当該道路区間の一般化費用が低下した場合に、再配分(転換交通)、再分布(集中地点の変更)、トリップの発生、交通手段の変更(転移交通)、日時の変更、立地変更などの交通需要者の行動変更によって新たな誘発交通が生じることを述べたうえ、誘発交通に関する多くの経験的証拠を示した。そして、土地利用の変化による誘発交通を考慮しないと利用者便益の評価に歪みが生じることを理論的に証明した。また、混雑している経路の混雑を緩和するために道路を整備したことが、中長期的な土地利用の変化による誘発交通によって、逆にその経路の混雑が悪化する可能性があることを理論的に示した。そこで、交通計画においては土地利用と交通との相互作用を考慮しなければならないことを示した。

交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響においては、道路システムの拡大が理想的なコンパクトな都市空間構造をもたらすことなく、都市の広域化およびスプロールを助長する可能性があることを経験的な事例から考察した。そして、スプロールは、公共サービ

スのコストの増加や土地価格の上昇、農地の開発、地域社会意識の欠如、汚染の増加などの悪影響を及ぼすことを指摘した。さらに、道路システムの拡張によって助長されたスプロールは、逆に道路交通に、日当り走行距離の増加、旅行時間の増加、自動車利用の増加、公共交通の非効率性などの悪影響を及ぼすことを示した。

道路投資による間接効果においては、道路整備による影響と道路整備効果の波及効果を示した後、利用者便益が道路投資と関連する経済的便益を十分に反映しないことや道路投資評価の合理性、客観性、公平性を高め、住民に対するアカウンタビリティを確保するため間接効果を計測する必要があると述べた。そして、既存の交通モデルによってはこのような間接効果の計測は不可能であり、また、これを計測するために地域要因を考慮した計量経済モデルなどの構築を行った場合、交通モデルとの整合性が問題となることを指摘した。しかし、土地利用・交通相互作用モデルを利用すると、道路投資による誘発交通や道路投資が都市空間構造形成に及ぼす影響と相まって間接効果を計測することができ、また、交通モデルとの整合性にも矛盾は生じないことを示した。

[第2章参考文献]

- 1)Department of Transport (1993a) COBA 9 Manual. Highways Economics and Traffic Appraisal Division.
- 2)Mackie P.J. (1996) Induced traffic and economic appraisal. *Transportation* 23, 103-119.
- 3)Goodwin P.B. (1996) Empirical evidence on induced traffic. *Transportation* 23, 35-54.
- 4)Noland R.B. (2001) Relationships between highway capacity and induced vehicle travel. *Transportation Research Part A* 35, 47-72.
- 5)児玉源義：関越自動車道の全通効果, 道路, Vol.561, pp.38-42, 1987.
- 6)佐々木隆士：仙台西道路の整備とその効果, 道路, Vol.568, pp.29-35, 1988.
- 7)服部清繁：東名・名神高速道路の効果, 道路, Vol.640, pp.13-16, 1994.
- 8)道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資の評価に関する指針(案) 第1編 経済評価, 財団法人 日本総合研究所, 1998.
- 9)道路投資評価研究会：道路投資の社会経済評価, 東洋経済新報社, 1997.
- 10)Tomita Y., Hayashi Y., Kato H. & Hammad A. (1999) Land-Use and Transport Model for Impact Analysis of Nagoya Orbital Motorway. Paper presented at SIG/NECTAR SEMINAR, held at University of Kent in Canterbury.
- 11)Mogridge M.J.H (1997) The self-defeating nature of urban road capacity policy: A review of theories, disputes and available evidence. *Transport Policy*, Vol. 4, No.1, pp.5-23.

- 12)Mid-America Regional Council (1993) Metropolitan Kansas City's Urban Core: What's Occurring, Why It's Important and What We Can Do. Kansas City, MO: MARC.
- 13)Rusk D. (1993) Cities Without Suburbs. Washington, DC: The Woodrow Wilson Center Press.
- 14)Cox, Wendell (1996) Demographic Briefs: US Urbanized Area Population & Density Trends: 1950-1990. Belleville, IL: Wendell Cox Consultancy.
- 15)Vijayan S (2000) Transportation and Land Use Primer, Center for Urban Transportation Studies, University of Wisconsin-Milwaukee.
- 16)Moore T. & Thorsnes P. (1994) The Transportation/Land Use Connection: A Framework for Practical Policy. Planning Advisory Service Report, No.448/449, Chicago, IL: American Planning Association.
- 17)Federal Highway Administration (1993) National Personal Transportation Survey. Washington, DC: U.S. Department of Transportation.
- 18)Federal Highway Administration (1990) Highway Statistics 1989. Washington, DC: U.S. Department of Transportation.
- 19)Federal Highway Administration (1995) Highway Statistics 1994. Washington, DC: U.S. Department of Transportation.
- 20)The Transit Cooperative Research Program (TCRP, 1998) The Costs of Sprawl – Revisited, TCRP Report 39.
- 21)Pisarski, Alan (1992) New Perspectives in Commuting. Washington, DC: Federal Highway Administration, Office of Highway Information Management.
- 22)Oscar Faber TPA/Cambridge Systematics (1993) The Assessment of the Economic Development Impact of Road Infrastructure. Report to Scottish Office.

第3章 環境と持続可能性を考慮する必要性

本章では、地球温暖化、オゾン層の破壊、熱帯雨林をはじめとする森林の消滅、多くの動植物種の絶滅など、ますます深刻化している地球環境問題とローマ・クラブが指摘した成長の限界に関する問題を述べたうえ、これらの問題に対して解決の中心的な理念となっている持続可能な発展に関して考察を行う。

そして、持続可能な発展をどのように達成するかに関する方法論や目標体系などが確立されていないことから、持続可能な発展の実現に向けて、各都市・地域別および各分野別からの二つの経路のアプローチを提案し、その方法論として、各都市・地域においては都市の持続可能性指標づくりを、各分野においては、交通分野における持続可能な交通戦略を提示する。さらに、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性と関連して、地球環境問題と成長の限界、持続可能な発展論、土地利用・交通・環境の相互関連性、費用便益分析、の4つの観点から検討を行う。

3.1 地球環境問題

3.1.1 地球環境問題の現状

1980年代後半以降、地球温暖化、オゾン層の破壊、熱帯雨林をはじめとする森林の消滅、多くの動植物種の絶滅など、地球規模で環境問題が深刻化していることが明らかになった（保田・竹内, 1994）¹⁾。

環境庁（1998）²⁾は、地球環境問題として、①オゾン層の破壊、②地球の温暖化、③酸性雨、④熱帯林の減少、⑤砂漠化、⑥野生生物種の減少、⑦海洋汚染、⑧有害廃棄物の越境移動、の8つの現象を取り上げている。

ここで、地球温暖化問題は、人間活動、特に石炭、石油などの化石燃料の燃焼や森林破壊によって、二酸化炭素（CO₂）をはじめとする温室ガスが地球生態系の持っている吸収・同化能力を超えて排出され、大気中濃度が上昇することにより、地球規模での温暖化が進み、気候変動やそれに伴う海面上昇を引き起こす、という問題である。地球温暖化によって、表3.1.1に示すような経済的損失はもちろん、表3.1.2に見るように、環境難民のようないわば絶対的損失も生じる可能性が高い。

現在の技術水準では、我々の生産・消費活動は石油、石炭などの化石燃料に大きく依存せざるをえず、その意味で人間の経済活動はすべて直接、間接にCO₂の排出に関与しているといえる。そのため、CO₂の排出抑制は人間の経済活動そのものを変えなくてはならない課題を持つ。

オゾン層破壊問題とは、有害な紫外線の大部分を吸収することで、地球上の生物を守っていたオゾン層がフロンガスなどで破壊されるという問題である。その結果、皮膚ガンや

白内障などの健康障害を起こしたり、植物プランクトンの生育を阻害したりすることが懸念されている。

砂漠化問題は、干ばつなどの自然的な要因のほか、放牧地の再生能力を超えた家畜の放牧や、過耕作、薪炭材の過剰な採取、不適切な灌漑による農地の塩分濃度の上昇などにより、地球規模で砂漠化が進行している、という問題である。砂漠化の影響は世界の乾燥地域における耕作可能な土地の約70%、地球上の全陸地の約25%に及んでいる。

酸性雨問題とは、化石燃料などが燃焼されることにより、硫黄酸化物(SO_x)や窒素酸化物(NO_x)が大気中に放出されて強い酸性の雨が降り、湖沼の魚を死滅させたり、土壌を酸性化して樹木を枯死させるなど、生態系の破壊を引き起こすものである。

海洋汚染問題とは、タンカー事故や海洋への汚染物質の投棄、河川などを通じた陸起源の汚染物質の流入、沿岸の開発、など様々な人為的要因により、生態系の破壊や漁業資源および観光資源の喪失、海洋生物を経由した人体への影響などを起こすものである。

有害廃棄物の越境移動問題とは、廃棄物が国境を越えて発生国以外に運ばれることであり、廃棄物の発生国における処理コストの上昇や処分容量の不足に伴い、行われるようになった。

表 3.1.1 世界の地域別の CO₂ による被害の貨幣的評価額 (2.5°C 温暖化した場合)

	Fankhauser (1995) ³⁾		Tol (1994) ⁴⁾	
	10億ドル	%GDP	10億ドル	%GDP ¹⁾
ヨーロッパ連合	63.6	1.4		
アメリカ合衆国	61.0	1.3		
他の OECD 諸国	55.9	1.4		
OECD アメリカ			74.2	1.5
OECD ヨーロッパ			56.5	1.3
OECD 太平洋地域			59.0	2.8
OECD 諸国合計	180.5	1.3	189.5	1.6
東ヨーロッパ・旧ソ連	18.2 ²⁾	0.7 ²⁾	-7.9	-0.3
アジア社会主義国	16.7 ³⁾	4.7 ³⁾	18.0	5.2
南アジア・東南アジア			53.3	8.6
アフリカ			30.3	8.7
ラテンアメリカ			31.0	4.3
中東			1.3	4.1
非 OECD 諸国合計	89.1	1.6	126.2	2.7
世界全体	269.6	1.4	315.7	1.9

注 1) 2つの研究における GDP ベースは異なる 2) 旧ソ連のみ 3) 中国のみ

表 3.1.2 世界の地域別の CO₂による被害の量的評価 (2.5°C 温暖化した場合)

被害の タイプ	被害指標	ヨーロッ パ連合	米国	旧ソ連	中国	非 OECD 諸国	OECD 諸国	世界 全体
農業	厚生損失 (%GDP)	0.21	0.16	0.24	2.10	0.28	0.17	0.23
林業	森林損失面積 (Km ²)	52	282	908	121	334	901	1235
水産業	捕獲減少量 (1000t)	558	452	814	464	4326	2503	6829
エネルギー	電力需要 増加量 (TWh)	54.2	92.0	54.6	17.1	142.7	211.2	353.9
水	水供給能力 減少量 (Km ³)	15.3	32.7	24.7	32.2	168.5	62.2	230.7
海岸保護	年間資本費用 (100 万\$/年)	133	176	51	24	514	493	1007
乾燥地 損失	損失面積 (1000 Km ²)	1.6	10.7	23.9	0	99.5	40.4	139.9
湿地損失	損失面積 (1000 Km ²)	9.9	11.1	9.8	11.9	219.1	33.9	253.0
生態系 損失	2% 損失の場合 の保護生息地 の損失数	16	8	—	4	53	53	106
健康被害	死亡者数 (1000 人)	8.8	6.6	7.7	29.4	114.8	22.9	137.7
大気汚染	排出増加量	566	1073	1584	227	2602	1943	4545
成層圏 オゾン	(1000t 二酸化窒素)							
二酸化 硫黄	(1000t 硫黄)							
移住 (難民)	移民増加数 (1000 人)	229	100	153	583	2279	455	2734
ハリケーン		0	72	44	779	7687	313	8000
死傷者 被害額	死者数 (100 万\$)							
		0	115	1	13	124	506	630

出展) Fankhauser (1995) ³⁾

一方、表 3.1.3 と表 3.1.4 に示すように、熱帯雨林や森林が急速に減少している。このような森林破壊は、野生生物の生息地を破壊するだけでなく、CO₂の吸収量が減少することによって地球の温暖化を加速しているのではないかと危惧されている。

表 3.1.3 土地利用の転換 1979/81-91 (100 万 ha)

	穀物栽培地	牧草地	森林	その他	合計
アフリカ	+ 9	+ 8	- 2 6	+ 1 1	+ 1
北・中央アメリカ	- 2	+ 4	+ 2	- 4	0
南アメリカ	+ 1 3	+ 2 1	- 4 2	+ 1 1	+ 3
アジア	+ 6	+ 6 6	- 2 6	- 4 3	+ 3
ヨーロッパ	- 2	- 3	+ 1	+ 4	0

出典) 植田 (1996) ⁵⁾

表 3.1.4 1980 年代の熱帯雨林の喪失率 (100 万 ha/年)

	閉鎖林			熱帯雨林	
	1970 年代後半	1980 年代半ば	1980 年代後半	1980 年代	1980 年代後半
対象国家	34				90
南アメリカ	2.7	3.3	6.7	6.8	6.2
中央アメリカ カリブ海諸島	1.0	1.1	1.0	1.6	1.2
アフリカ	1.0	1.3	1.6	5.0	4.1
アジア	1.8	1.8	4.3	3.6	3.9
オセアニア	—	—	0.4	—	
計	6.5	14.9	13.9	17.0	15.4

出典) 植田 (1996) ⁵⁾

なお、表 3.1.5 に示すように、野生生物種は近年急速に減少しており、1990 年以降 30 年間に全世界の 5～15% の種が絶滅するとの予測もある (保田・竹内, 1994) ¹⁾。

野生生物は、食料、衣料、薬品などの原料として人類の生存を支える資源であるとともに、より本質的には、物質循環の担い手として自然環境のバランスの維持に寄与するなど、人間にとって必要不可欠な存在である。また、ある種の生存は、多数の他の種の存在にも依存するなど、種同士がそれぞれ複雑に相互依存しており、生物の多様性は生態系のバランスを維持し、人類を含む種の存続の基盤となっている。

表 3.1.5 生物多様性の喪失

種の喪失（推定値）	10年間の喪失率	出典
100万種、1975-2000	4%	Myers (1979) ⁶⁾
種の15-20%、1980-2000	8-11%	Lovejoy (1980) ⁷⁾
種の25%、1985-2015	9%	Raven (1988) ⁸⁾
種の2-13%、1990-2015	1-5%	Reid (1992) ⁹⁾

以上のような地球環境問題は、すべて単に一国のみならず、大気や水および生態系を通して地球的規模で影響を及ぼす。

3.1.2 地球環境問題の背景と特徴

地球環境問題顕在化の第1要因としては、世界の経済活動が巨大化した結果、環境に対する負荷が地域や地球全体の吸収・同化能力を超えて蓄積されつつあることがあげられる。

表 3.1.6 世界の人口・総生産・化石燃料消費量の推移

年	人口(億人)	世界総生産(兆ドル)	化石燃料消費量(億トン)
1900	16	0.6	7
1950	25	2.9	19
1990	53	15.0	78
2050	100	—	—

出典) 保田・竹内(1994) ¹⁾

表 3.1.6 に見るように、生産量の拡大に伴って、化石燃料の消費量も増大し、結果としてCO₂などの排出量も増大している。1930年の世界のエネルギー消費量は石油換算で年間約10億トンであったが、1960年には約30億トンに、1990年には約80億トンに達している(保田・竹内, 1994) ¹⁾。いわゆる、20世紀工業文明は、大量生産、大量消費、大量廃棄によって特徴づけられるが、地球温暖化問題や酸性雨問題などの地球環境問題は、主として経済活動の量的拡大を背景としている。

第2要因としては、モータリゼーションの進展に伴う影響があげられる。主として化石燃料をエネルギーとして用いている自動車の利用増加は、二酸化炭素排出量の増加に直接的につながっている。日本の場合、運輸部門からのCO₂排出量は、1973年から1994年までの22年間に約1.9倍に増加しており、産業、民生を加えた全部門平均が約1.2倍であるのに対して突出している(森口, 1996) ¹⁰⁾。また、二酸化炭素の排出源として運輸部門が2割近くを占めているが、その90%を自動車が占めている(大聖, 1997) ¹¹⁾。さらに、この傾向はアメリカにおいてもっと厳しく、二酸化炭素の排出源として運輸部門が3割以上を占めているが、その3分の2が自動車によるものである(1000 Friends of

Oregon, 1997) ¹²⁾。

第3要因としては、現代の経済活動が質的にも高度化したことがあげられる。プラスチックやフロンのような新素材の使用が、その一つの例であり、オゾン層破壊問題は、このような背景のもとで顕在化してきた。

そして、地球環境問題深刻化の原因としてあげられるのが、経済活動のグローバル化である。経済活動のグローバル化による開発途上国への直接投資や貿易、有害廃棄物の越境移動などは、開発途上国の伝統的な生産・消費秩序を崩し、さらにはその基盤であった自然環境と生態系を破壊してきた。

一方、従来の地域的な環境問題と地球環境問題は、いずれも現代文明の発展の過程において生じてきたものであり、本質的には連続性があるが、地球環境問題の特徴づけるものとして、以下の5点を取り上げることができる(保田・竹内, 1994) ¹⁾。

① 対象が地球公共財であること

地球環境問題の第1の特徴は、その主要な対象が、世界の人々によって共同利用されている地球公共財であることである。大気、海洋などの地球公共財は、1人が余分に使ってもなくなるものではないが、他方、これらが壊れると全員が被害を受けるという性質を持っている。公害のような地域的な環境問題の場合、引き起こされた被害から因果関係を分析し、そこから得た教訓を他地域に適用することにより再発を防ぐことができる。しかし、地球公共財の特殊性は、一つしかなく、やり直しがきかないということである。したがって、地球温暖化やオゾン層破壊などの問題においては、被害が明らかになってから対応するのは手遅れであり、失敗は許されない。また、地球公共財の性格から、一国のみによる取り組みでは問題は解決できず、国際協調が不可欠となる。

② 因果関係に関する不確実性と不可逆性

地球環境問題においては、因果関係が必ずしも十分明確ではない。酸性雨やオゾン層破壊などの問題の場合は、その因果関係が比較的明瞭であり、対策も講じやすい。しかし、地球温暖化問題の場合、CO₂濃度の増加は確認されているが、そのことと温暖化の関係、さらには温暖化の結果、どのような影響が生じるのか、といった問題についての科学的知見は十分ではない。野生生物種の絶滅問題についても同様である。

他方、多くの場合、いったん問題が発生した場合の人間の活動に対する影響、被害は計り知れず、かつ不可逆的である。したがって、科学的知見を高め、環境政策の費用と便益を比較していくことも重要であるが、影響が不可逆的であることを考えると、現在得られている知見に基づき、不確実性の存在を認めたとうえで、予防的に対策を考えていくことが不可欠である。

③ 対症療法的対応の限界

地球環境問題の場合、原因となる経済主体が無数で、広範に存在する。したがって、個々の原因者たる経済主体に対して技術的な対策などの対症療法で対応していくのは、ほぼ不可能である。そこで、より環境負荷の少ない生産・消費構造を考えていくことが必要となる。

④ 世代間の公平性

地球環境問題は、例えば地球温暖化問題のように、現世代の経済活動の結果として引き起こされるにもかかわらず、その影響が現れるのは時間的にかなり後のこととなり、被害を被るのは将来世代というものが多い。したがって、世代間の公平性の確保、あるいは適正な資源配分をどう図るかという問題が生じる。

⑤ 南北間の公平性

地球環境問題の解決には、国際協調が不可欠であるが、それが容易でないことの背景には、この問題をめぐる南北間の利害の違いがある。先進国は、既に経済的豊かさを実現し、環境保全に高い優先度を与えている。他方、開発途上国によっては、環境問題より、貧困克服のための開発や成長が重要課題である。すなわち、貧困こそが、環境問題の最大の原因となっている。また、開発途上国は地球環境問題に対する第1次的な責任は先進国側にあると主張している。すなわち、産業革命以来、先進国は、世界の天然資源を、持続可能ではない生産および消費パターンによって過剰に利用し、地球環境に害を与え、開発途上国に損害をもたらしてきた、ということである。そこで、南北間の公平性をどのように確保するか、すなわち、だれが、どのように、地球環境問題に対するコストを負担するかが問題となる。

3. 2 環境問題への対応と持続可能な発展

3.2.1 成長の限界

個人の時間的ならびに空間的視野は、文化、過去の経験、また各レベルで彼が直面する問題の緊要性に依存している。図 3.2.1 に見るように、一般に、問題の空間的な広がりが大きいくほど、また時間的な広がり長いほど、その問題の解決に本当に関心をもつ人の数は少なくなる (Meadows et al, 1972) ¹³⁾。しかし、あまりに狭い範囲に視野を限ることは失望を招くこともあるし、危険を招くこともある。地方の計画は、国家政策によってくつがえされることがあり、一国の経済発展は、その国の生産物に対する世界の需要不足のためにはばまれることもある。

実際に、近年、ほとんどの個人的ならびに国家的な目的が、長期的、世界的な傾向によって結局は阻害されるかもしれないという懸念が、強まりつつある。すなわち、加速度的

に進みつつある工業化、急速な人口増加、天然資源の枯渇、地球環境の悪化、といった長期的・世界的傾向は、その問題を部分的、短期的関心に優先させなければならないほど実際に脅威的な問題となってきた。

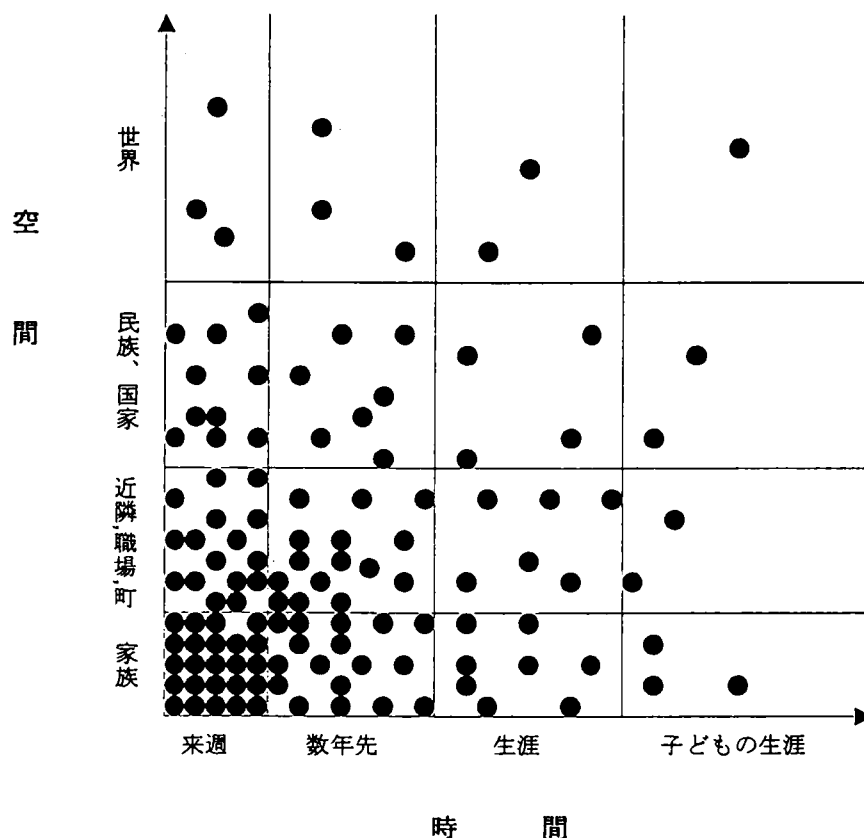


図 3.2.1 人間の視野 (Meadows et al, 1972) ¹³⁾

これに関連して、Meadows et al (1972) ¹³⁾ は、上で述べた長期的・世界的問題、すなわち、図 3.2.1 のグラフの右上方に位置している問題を、システム・ダイナミクス・モデルによって予測・分析し、以下のような結論を得た。

- ① 世界人口、工業化、汚染、食糧生産、および資源の使用の現在の成長率が不変のまま続くならば、来たるべき 100 年以内に地球上の成長は限界点に到達するであろう。最も起こる見込みの強い結末は人口と工業力のかなりの突然の、制御不可能な減少であろう。
- ② こうした成長の趨勢を変更し、将来長期にわたって持続可能な生態学的ならびに経済学的な安定性を打ち立てることは可能である。この全般的な均衡状態は、地球上のすべての人の基本的な物質的必要が満たされ、すべての人が個人としての人間的な能力を実現する平等な機会をもつように設計しうるのである。
- ③ もしも世界中の人々が第 1 の結末ではなくて第 2 の結末に至るために努力することを

決意するならば、その達成するために行動を開始するのが早ければ早いほど、それに成功する機会は大きいであろう。

すなわち、彼らは、幾何級数的な成長には限界があり、人類は限りある地球を破壊する危機に面していると警告し、それを避けるためには、成長を計画的に抑制すべきで、破局を招くことがない持続性と基本的な物質的要求を充足させる能力をもつ「よりよい」均衡状態における成長を目指すべきだと述べた。

しかし、それから20年の間に、彼らの警告が極めて衝撃的であったにも拘わらず、多くの資源の枯渇や汚染のフローが既に持続可能性の限界を超えてしまっていることが、彼らの研究を通じて明らかになった。そこで、彼らは、地球の維持能力は既に持続可能な限界を超えているという意味で「限界を超えて」¹⁴⁾を出版し、以下のように警告した。

- ① 人間が必要不可欠な資源を消費し、汚染物質を産出する速度は、多くの場合既に物理的に持続可能な速度を超えてしまった。物質およびエネルギーのフローを大幅に削減しない限り、1人当たりの食糧生産、およびエネルギー消費量、工業生産量は、何十年か後にはもはや制御できないようなかたちで減少するだろう。
- ② しかしこうした減少も避けられないわけではない。ただし、そのためには二つの変化が要求される。まず、物質の消費や人口を増大させるような政策や慣行を広範にわたって改めること。次に、原料やエネルギーの利用効率を速やかに、かつ大幅に改善することである。
- ③ 持続可能な社会は、技術的にも経済的にもまだ実現可能である。持続可能な社会は、絶えず拡大することによって種々の問題を解決しようとする社会よりも、はるかに望ましい社会かもしれない。持続可能な社会へ移行するためには、長期目標と短期目標のバランスを慎重にとる必要がある。また、産出量の多少よりも、十分さや公平さ、生活の質などを重視しなければならない。それには、生産性や技術以上のもの、つまり、成熟、憐れみの心、知恵といった要素が要求されるだろう。

なお、彼らは、成長（growth）には限界があるが、質的な変化や改善を内包する発展（development）には限界がないと述べた。辞書の定義によれば、成長（growth）とは、物質を吸収し蓄積して規模が増すことを意味し、発展（development）とは、広がる、もしくは何かの潜在的な可能性を実現すること、つまり、より完全で、より大きく、より良い状態をもたらすことを意味する。何かが成長する時には、量的に大きくなり、発展する時には、質的に良くなるか、少なくとも質的に変化する。量的な成長と、質的な改善は、まったく異なる法則に従っている。この地球も長い間成長することなく発展している。したがって、この有限で成長しない地球のサブシステムである我々の経済も、同じような発展パターンを採用すべきである。

3.2.2 持続可能な発展の考え方

3. 1で述べた地球環境問題や3.2.1の成長の限界に関する問題に対して、解決のための中心的な理念となっているのが「持続可能な発展」という考え方である。持続可能な発展については非常に多くの文献が存在し、その定義も数多いが（付録1）、「持続可能な発展」という用語が一般に用いられてきたのは、1980年に入ってからである。

1979年にCoomer¹⁵⁾は「持続可能な社会」という概念を提唱し、経済成長を止めた社会ではなく、環境制約下で経済成長を持続させるための代替的な手段を模索した。1980年には世界保全戦略（World Conservation Strategy）において初めて「持続可能な発展」という言葉が使われ、基本的な自然システムの維持、遺伝子資源の保護、環境の持続的利用の三つを配慮した開発の方向を示した（IUCN et al, 1980）¹⁶⁾。これらの提言はしばらくは大きな影響を及ぼさなかったが、1986年頃から「持続可能な発展」概念が急速に広まっていった。この概念の普及に最も大きな貢献を果たしたのは、元ノルウェー首相のブルントラント女史である。同女史は1986年の演説で、「もし我々のために人間および自然の一部を救おうとするならば、このシステム全体を救わなければならない。これが持続可能な発展の本質である。」と主張した（Brundtland, 1986）¹⁷⁾。そして、この発展のディメンションとして、①貧困とその原因の排除、②資源の保全と再生、③経済成長から社会発展へ、④全ての意思決定における経済と環境の融合、の四つを示した。この提言は、同女史が委員長を務めた「環境と開発に関する世界委員会（the World Commission on Environment and Development）」に引き継がれ、1987年の同委員会報告書（Our Common Future）において「将来の世代が自らのニーズを充足する能力を損なうことなく、現在の世代のニーズを満たすような発展」が提言された（WCED, 1987）¹⁸⁾。さらに、この「環境と開発に関する世界委員会」の持続可能な発展に関する概念には、以下の二つの考え方が含まれている。

- ① 現在および将来のニーズを満たす環境の能力には限界があり、その能力は、技術水準や社会組織の状態によって決定される。
- ② 世界の貧しい人々にとっての、人間として必要不可欠なニーズが最優先されなければならない。

ここには、地球環境問題の解決には、何世代にもわたる長期的な世代間の分配の公平性への配慮が必要であるという視点が、強く打ち出されている。同時に、南北問題や人口爆発の問題を解決して人類の福祉の増進を図るためには、一層の発展が不可欠であるという、同世代内の公平性の視点も重要視されている。この委員会の検討過程や最終報告書をきっかけにして、世界中で持続可能な発展論が論じられるようになったのである。

ところが、Pearce et al (1994) ¹⁹⁾ が述べたように、持続可能な発展についてのいかなる定義も十分に厳密ではない。また、その概念は理論的に体系化されていない。

これに関連して、森田ら（1992）²⁰⁾は、持続可能な発展に関する多くの文献や定義から持続可能な発展の概念を表 3.2.1 のように類型化した。

表 3.2.1 持続可能な発展の概念の類型化

類型	内容
自然条件を重視した定義	生物の多様性の保護
	環境の容量範囲内での生活
	天然資源の保全
世代間の公平性に着目した定義	環境と経済の予見的な配慮
	永続的な経済成長
	世代間の公平性
社会的正義や生活質などのより高次の観点からの定義	南北間の公平性、生活水準の向上
	社会、人権、文化などの価値、活動

まず、持続可能な発展論の第 1 類型として、自然条件を重視して規定された概念である。これは、生物の多様性の保護、環境容量の制約、天然資源の保全といった自然環境的な制約下で人間活動を営むという概念であり、代表的な定義としては、Pearce（1988）²¹⁾の定義を挙げることができる。彼は、持続可能な発展の条件として、第 1 に自然の再生能力の範囲内で自然を利用すること、第 2 に自然の浄化能力や処理能力の範囲内で汚染物質や廃棄物を排出すること、を挙げている。この条件を満たさない場合には、自然の再生能力や浄化能力が不可逆的に劣化し、結局は経済活動を縮小せざるをえなくなるため、伝統的な経済的合理基準に代わって自然的条件から決定される持続性基準を採用すべきだと主張している。

次に、第 2 の類型として、世代間の公平性を強調した定義がある。経済成長を持続させるという目標設定は、現世代の経済成長だけを優先するのではなく、後世の世代の経済成長をも保証していこうとすることであり、この意味で世代間の公平性を取り上げていることになる。この観点は、上で述べた「環境と開発に関する世界委員会（WCED）¹⁸⁾」の定義からも明確に示されている。

第 3 の類型は、社会的正義や生活質などのより高次の観点から展開する持続可能な発展論である。これに関連して、Barbier（1987）²²⁾は、「第 3 世界での持続可能な発展の概念において、最優先の目標は世界の絶対的貧困を減らすことである」と主張している。

一方、Pearce et al（1994）¹⁹⁾は、広い意味での持続可能な発展を達成することの意味を次のように要約している。

① 環境の価値

持続可能な発展は、自然環境、人工的環境および文化的環境の価値を強調する。この明確な考え方は、環境の質が実質所得の上昇のような伝統的な発展目的の達成に寄与する重要な要素とみられるようになったからか、あるいは単純に、環境の質が生活の質の向上という、より広汎な発展目標の一部になったからか、いずれかの理由に起因する。

② 永続性

持続可能な発展は、短・中期的未来と長期的未来の双方に配慮することを必要とする。短・中期は、5～10年間を指し、長期的未来は、我々の孫やその子孫に引き継がれる時代を指す。

③ 公平性

持続可能な発展は、社会における最も恵まれない人々のニーズを満たすこと（世代内公平性）とともに、将来の世代を公平に扱うこと（世代間公平性）を強調する。

以上のことから、将来の世代の厚生を損なわない経済的發展を実現するという経済的条件と、持続可能な経済發展の過程で環境の質を維持するとともに、環境に対してこれまで以上に高い価値を置きながら自然環境保全という自然的条件の、両者を満たしていくことが、持続可能な発展につながるといえる。なお、ここで示した経済的条件と自然的条件は、3.1.2に示した地球環境問題の背景と特徴と密接に関連していることがわかる。すなわち、持続可能な発展は地球環境問題に対し、解決の中心的な理念ともなる。

3. 3 環境と持続可能性を考慮したモデルへの拡張

3.3.1 持続可能な発展へのアプローチ

地球環境問題や成長の限界、すなわち資源の消費量や汚染排出量が持続可能な限界を超えて増大していることに対して、Meadows et al (1992)¹⁴⁾は、人類社会がとりうる対応を次のように示している。

- ① 一つはその問題をごまかし、否定し、混乱させる方法である。例えば、もっと高い煙突を建てる。有害な科学物質を、内密に非合法な方法で捨てる。雇用の確保や債務の返済を理由に、無理を承知で森林資源を過剰に利用し、実際には雇用と債務返済の基盤である自然システムを危機に陥れてしまう。既知の資源を不注意に浪費し続けながら、もっと多くの資源を探し求める。これらは全て第1の対応に入る。こうした対応（もしくは非対応）は、限界によって引き起こされた問題への取り組みを拒否するものであって、まちがいなく時間とともに問題を悪化させる。
- ② 二つめの対応は、限界からくる圧力を、根本的な原因には手をつけず、技術的もしくは経済的解決策で緩和しようとするものである。例えば、自動車の走行1マイル当たりの

汚染排出量や発電1キロワット当たりの汚染排出量を削減する。さらなる資源を探し求め、資源をより効率的に利用し、資源をリサイクルし、ある資源を別の資源で代用する。下水処理や治水、土地の施肥など、これまで自然が果たしていた機能を人間の資本や労力で代替する。こういったことが第2の対応である。これらはただちに必要な方策ではあるが、ほとんどは一部の圧力を一時的に軽減するだけで、その根本にある原因を本質的に解決するものではない。

- ③ 三つめの方法は、一歩さがって、現在の社会経済システムの構造は管理不可能なものであり、すでに限界を行き過ぎて破局に向かっている、したがってシステムの構造そのものを変える必要がするという事実を認めることである。

ここで、提示された三つめの方法、すなわちシステムの構造そのものを変えることは、現在の成長指向的な社会のシステムを持続可能なシステムへ移行させ、持続可能な発展を可能とすることを意味しており、彼らはこのような構造変革が根本的な対応策として必要であると主張した。なお、持続可能な社会の構築のためには、二つめの方策である技術進歩や市場の柔軟性などに加えて、人口および工業の成長抑制、物質的な消費水準の調整などの行動を必要とすると主張した。特に、環境とエネルギーに関しては、次の条件を満たしている必要があると述べた。

- ・ 再生可能な資源の消費ペースは、その再生ペースを上回ってはならない。
- ・ 再生不能資源の消費ペースは、それに代わりうる持続可能な再生可能資源が開発されるペースを上回ってはならない。
- ・ 汚染の排出量は、環境の吸収能力を上回ってはならない。

ところが、彼らが主張した対応や持続可能な発展への移行の必要性にもかかわらず、成長に慣れきった現在の社会にとって、持続性という概念はあまりに異質であり、持続可能な発展をどのように達成するかに関する方法論や目標体系は確立されていない。

さらに、現在の地球環境問題が地域レベルでの汚染の集積の結果であるにもかかわらず、その根本的な原因を提供している地域レベルでは、地球的観点を取り入れた対応策とその基盤となる計画論は整備されていない。また、この問題は、人類が生活している全ての分野と直間接的にかかわる問題にもかかわらず、各分野において地球的観点を取り入れた政策や計画は構築されていない。

そこで、本研究では持続可能な発展の実現に向けて、図 3.3.1 に示すように、各都市・地域別、各分野別からの、二つの経路のアプローチを提案する。さらに、3.3.2 と 3.3.3 を通じて、その方法論として、各都市・地域においては都市の持続可能性指標づくりを、各分野においては、交通分野における持続可能な交通戦略を提示する。

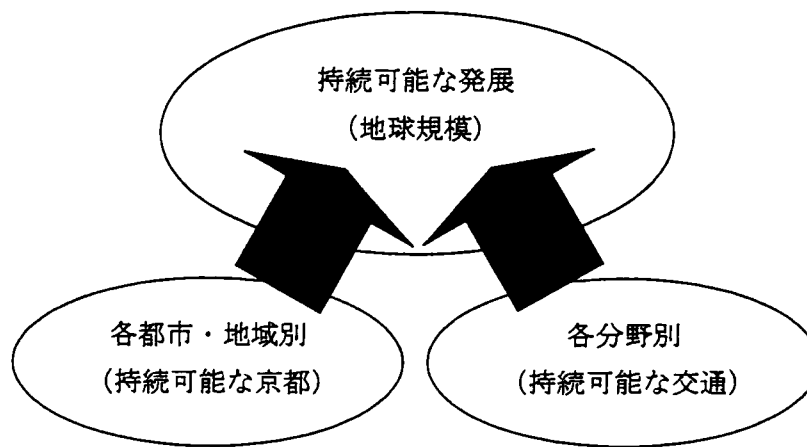


図 3.3.1 本研究における持続可能な発展へのアプローチ

3.3.2 持続可能な発展と都市の持続可能性指標づくり

個々人や地域の活動と、国や地球レベルの環境変化は密接な関係を持っているため、地域の発展と地球的貢献を両立させ、長期的には地球的貢献を地域の発展に結び付けることが必要である（森田ら, 1992）²⁰⁾。これに関連して、Nijkamp & Perreels (1994)²³⁾ は、「持続可能な発展は地球規模での定義であるが、地球規模でのエネルギー消費や環境悪化などの進行は地域レベルでの進行と密接な相互関係があることが認められており、地域は他のエリアや地球全体に影響を及ぼすオープンシステムである。そこで、都市や地域レベルで持続可能性を分析する必要がある」と主張した。さらに、「持続可能な都市とは、環境やエネルギーの制約条件が社会経済的便益に反映される都市である」と定義したうえ、持続可能な都市の実現に向けて持続可能な都市政策を実施することを強調した。

ここで、都市の持続可能性は、社会経済的、人口学的、科学技術的な要素が、質的に新しいレベルに到達することができ、長期的には都市システムを強化させることができる都市の可能性を意味するものであり（Nijkamp, 1990）²⁴⁾、主要な特性として、以下の8点を取り上げることができる（Maclaren, 1996）²⁵⁾。

- ① 世代間の公平
- ② 同世代内の公平
- ③ 自然環境の保全
- ④ 非再生資源の最低限の使用
- ⑤ 経済的活力と多様性
- ⑥ 地域社会の自立
- ⑦ 個人に対する福祉

⑧ 基本的なヒューマンニーズの満足

ところが、上で述べた都市の持続可能な発展の重要性にもかかわらず、実際に都市の持続可能な発展を可能とする方法論は構築されておらず、またその目標達成の度合いを測る指標体系も確立されていない。特に、都市の持続可能な発展は、都市の持続可能性に関する特性からもわかるように行政だけでは達成できず、市民や事業者などの全ての主体が持続可能性に関する学習と意思決定へ参加し、一緒に行動することが要求される。

そこで、本研究では、都市の持続可能な発展のための方法論として、また目標達成の度合いを測る指標体系として、都市の持続可能性指標づくりを提案する。

都市の持続可能性指標とは、表 3.3.1 に示すように、持続可能性の評価基準であり、ある地域社会の長期的な経済、社会、環境の状況を反映するものである（Sustainable Seattle, 1993）²⁶⁾。

この持続可能性指標を通じて、地域と地球の関係がわかりやすく表現できるとともに、目標達成の度合いを測ることが可能となる。また、その指標の公表を通じて、市民が持続可能な都市づくりへ向けての積極的な変化を生み出す努力を行うようにすることが可能であり、指標づくりに市民や事業者が参加することによって、行政だけではなく市民や事業者が地域づくりの主体となって行動するようにすることが可能となる。すなわち、個別に政策を進めるより、計画づくりのプロセスを通じて、持続可能な都市への運営基盤が強化され、ひいては都市を望ましい方向へ導くことになる。

現在、この持続可能性指標はヨーロッパや北アメリカを中心に開発が活発に進んでおり、市民の持続可能性指標づくりへの参加を通じて持続可能な都市づくりに向けての行動を促すことが主要な目的の一つになっている。

以下には、都市の持続可能性指標の必要性を示す。

- ① ある都市の持続可能性のレベルを把握できる。
- ② 持続可能な都市に向けての進行状況を把握・評価できる。
- ③ 指標の公開を通じて、持続可能な都市づくりへ向けて積極的な変化を生み出す努力を行うことができる。
- ④ 各政策が生み出した結果（経済・環境・社会などの面で）を把握でき、政策判断の資料として活用できる。
- ⑤ 都市の過去および現在の指標を通じてその都市の未来をわかりやすく予測することができる。

表 3.3.1 Seattle の持続可能性指標

持続可能性から乖離 持続可能性へ接近 どちらでもない	
	環境
	サケのさかのぼる数
	空気の良い日数
	歩行者街路整備率
	人口と資源
	人口増加率
	キングカウンティにおける人口当たり水消費量
	キングカウンティにおける人口当たり固形廃棄物とリサイクル量
	人口当たり走行距離とガソリン消費量
	再生可能および非再生可能なエネルギー消費量
	経済
	10大企業の雇用者割合
	生計を営む収入を得るための労働時間
	貧困子供率
	中・低所得者層のための住宅の余裕
	健康維持への支出
	文化と社会
	未熟児出生率
	少年犯罪発生率
	地域社会サービスへの青少年参加率
	予備選挙の投票率
	大人の読み書き率
	図書館とコミュニティーセンター利用率
	芸術活動への参加率

出典) Sustainable Seattle (1993) ²⁶⁾

一方、Maclaren (1996) ²⁵⁾ は、持続可能性指標づくりの過程を図 3.3.2 のように示しており、また持続可能性指標のフレームワークとして以下の5つの方法を提示している。

- ① 領域別構成 (Domain Based) : 環境、経済、社会、---
- ② 目的別構成 (Goal Based) : 社会福祉、経済成長、---
- ③ 分野別構成 (Sectoral) : 住宅、交通、環境、---
- ④ 争点別構成 (Issue Based) : 大気汚染、雇用、スプロール、---

⑤ 因果関係別構成 (Causal) : 状態(空気の質、--)、原因(自動車、--)、対応(TDM、--)

ここで、一番よく使用されているのが、領域別構成による持続可能性指標であり、表 3.3.1 の Seattle の持続可能性指標も領域別構成によって構築されたものである。また、目的別構成は、イギリスの LGMB (1993) ²⁷⁾ が使用しており、直接的に持続可能性の目標を示すために考案されたものである。

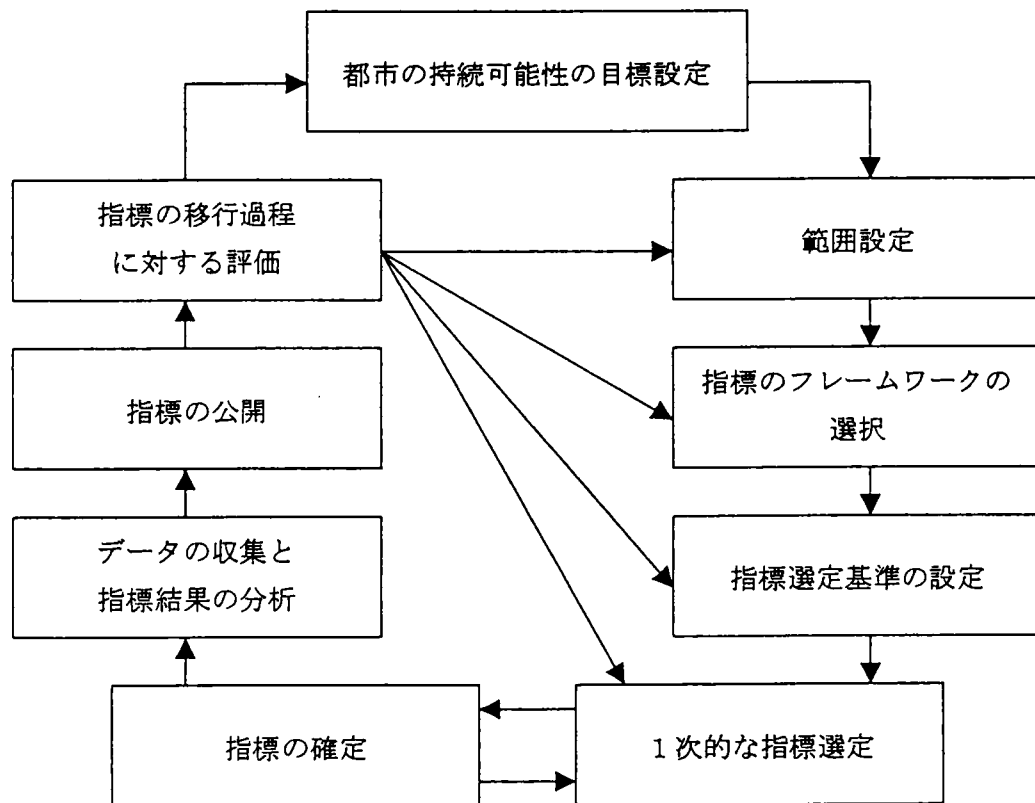


図 3.3.2 都市の持続可能性指標づくりの過程 (Maclaren, 1996) ²⁵⁾

ところが、それぞれの都市は、異なる社会的環境、価値判断基準、環境や経済水準を持っているので、全社会に共通に適用できる都市の持続可能性指標を提案するのは非常に難しい問題となる。またその分析および評価の基準を設定するのも容易ではない。しかし、Maclaren (1996) ²⁵⁾ が述べたように、都市の持続可能性に関する核心的な要素は存在する。また、全社会に共通に適用できる都市の持続可能性指標は不可能であっても、基準となる指標を設定するのは可能である。

そこで、本研究では、既存の都市の持続可能性指標や持続可能な発展の定義および Maclaren (1996) ²⁵⁾ が取り上げた都市の持続可能性の特性から、標準的な都市の持続可能性指標を、表 3.3.2 のように提案する。

表 3.3.2 本研究における都市の持続可能性指標

持続可能性指標	
環境	道路交通による排出ガス
	住居や企業などの地域の活動量による CO ₂ 排出量
	水質
	生物の多様性
	森林、農地などの非利用土地面積（あるいは不透水域面積）
人口と資源	人口増加率
	人口当たり水消費量
	ごみ排出量
	エネルギー消費量
	人口当たり固形廃棄物とリサイクル量
	太陽エネルギーなど再生可能エネルギー消費量
	農地面積
経済	人口当たり商業業務従業者数
	人口当たり工業従業者数
	10 大企業の雇用者割合
	生計を営む収入を得るための労働時間
社会	中・低所得者層のための住宅の余裕
	自治体の税金収入
	少年犯罪発生率
	貧困子供率

3.3.3 持続可能な発展と持続可能な交通戦略

都市交通が直面する最大の課題は、交通事故、混雑、大気汚染問題、そして、石油など再生不能資源の大量消費と地球温暖化問題などの自動車交通問題への対応である。これは、利便性の高い自動車に人流・物流の多くを依存してしまった現在のクルマ社会に由来する諸問題である。

都市の視点からは、これらの自動車利用に直接的にかかわる問題のほかに、路上でクルマと競合する路面電車やバスをはじめとする公共交通の衰退と、クルマを利用できない交通弱者のモビリティ格差の発生といった社会問題、住宅・商業施設などの郊外立地による市街地の拡大とスプロール、中心市街地の衰退といった都市問題など、様々な問題が関連して発生している。

このようなクルマ依存社会がもたらす諸問題に対しては、都市交通政策だけではなく、環境政策、都市計画など多面的な分野から総合的な対応が求められている。特に、①持続

可能性の視点からは、環境・生態面への負荷を小さくすること、②経済面では効率的な交通サービスを安定的に維持し、供給すること、③社会面では高齢者、障害者をはじめ社会のすべての人々に適切なモビリティを確保すること、といった三つの側面からの要件を満たすことが求められている。

これに関連して、OECD（1996）²⁸⁾は、「我々の現行の交通システムは持続可能な道を歩んではいない。移動性という面では我々は称賛に値する成果を得たが、それはいくつかの憂慮すべき環境的、社会的および経済的損失をもたらすに至っている。今後なすべき挑戦は、環境を損なわず、社会的に公平かつ経済的に実行可能で、しかも我々の交通へのニーズを満たせるような道を見いだすことである。」と述べたうえ、持続可能な交通への移行を主張した。

ここで、持続可能な交通とは、持続可能な社会の構築に貢献する交通を意味しており（社会公共政策研究会，2000）²⁹⁾、OECD（1996）²⁸⁾は、持続可能な交通のための原則を次のように示している。

① アクセス

すべての人は、他の人や場所、財やサービス、持続可能な交通を知るための情報にアクセスする権利がある。

② 平等性

国家や交通コミュニティは、女性や貧困者、障害者、田舎に住む人を含むすべての人びとの交通に関する基本的な要求を満たしながら、社会的に、また地域間、世代間の公平性を保証するような努力をしなければならない。そして、持続可能な交通に向けて先進国は途上国との協力関係を持つ必要がある。

③ 個人とコミュニティの責任

すべての個人とコミュニティは、自然環境を守り、移動や消費について持続可能な選択をする責任がある。

④ 健康と安全性

交通システムは、すべての人の健康と安全を保護し、地域における生活の質を高めるように設計され、運用されるべきである。

⑤ 教育と市民参加

人びとは持続可能な交通の意思決定の過程に十分に従事し、参加する権限を与えられる必要がある。そのために、人びとがそれに関する問題や一連の可能性のある選択における便益と費用についての情報を含む、十分に適切な援助を受けることが重要である。

⑥ 統合された計画

交通に関する意思決定者は、計画においてより総合的なアプローチを追求する責任がある。

⑦ 土地と資源の利用

コミュニティは、持続可能な交通を奨励し、アクセスを増やし、快適であり便利な生活を提供することに貢献すべきである。交通システムは生物の棲息空間や生物の多様性を保護するため、土地と自然資源の効率的な利用を行わなければならない。

⑧ 汚染の防止

交通需要は、人々の健康、地球の気候、生態系の多様性、本質的な生態プロセスの統合性を脅かす汚染の排出なしに、満たさなければならない。

⑨ 経済的福祉

利用者に平等なコストを負担させるために、現在と未来において、市場メカニズムは、本当の社会的、経済的、環境的費用を反映したより完全な費用計算をサポートする必要がある。

さらに、OECD (1996) ²⁸⁾ は、上で述べた持続可能な交通のための原則に基づいて、持続可能な発展の実現に向けた持続可能な交通への戦略を提案した。

本研究では、OECD (1996) ²⁸⁾ が提案した持続可能な交通への戦略を基準として、表 3.3.3 のような持続可能な交通戦略を提示する。

ここで、決定過程というのは、次のようなことを示すものである。

- ・ 交通に関する決定をオープンで包括的なプロセスの中で行うこと
- ・ 交通に関する決定は環境や健康、エネルギー、財政、都市の土地利用の決定と統合的に
行うこと
- ・ 交通に関しての決定が環境および社会に与える影響を、それが生じた後に対応しようとするのではなく、あらかじめ予想しておくこと
- ・ 決定がもたらすグローバルな影響と、地域の社会、経済、環境への影響を考慮すること

そして、都市計画と交通計画とは、都市構造や経済的および土地利用政策を通じてスプロールを制限し、土地の混合利用を促進することや交通システムと都市地域の計画において大気汚染が少ないことを優先させることを示す。

また、土地利用とは、コンパクトな都市の形態に重点を置くこと、より完全なコストの計算とは、それぞれの交通機関あるいは交通に関連した活動の社会的、経済的、環境的費用を、正確に市場価格に反映させることを示す。

なお、雇用の創出とは、現在の交通システムを再構築することから経済的および雇用の便益が発生することを考慮することを示す。

表 3.3.3 本研究における持続可能な交通戦略

戦略
選択肢の多様化
需要管理
決定過程
公教育
都市計画と交通計画
環境保護と廃棄物の削減
土地利用
エネルギーの利用
より完全なコストの計算
研究と技術革新
雇用の創出

3.3.4 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性

ここでは、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性を、地球環境問題と成長の限界、持続可能な発展論、土地利用・交通・環境の相互関連性、費用便益分析、の4つの観点から示すこととする。

(1) 地球環境問題と成長の限界

3. 1と3. 2で述べたように、地球環境や成長の限界に関する問題は、人類の活動によって生じてきたものであり、それを解決するためには人類のすべての経済および社会活動を変えなければならない。また、持続可能な経済発展の過程で環境の質を維持するとともに、環境に対してこれまで以上に高い価値を置きながら自然環境保全という自然的条件を満たさなければならない。そこで、現在の地球環境問題の原因を提供している地域レベルおよび各分野においては、持続可能な発展に向けて各種活動の変化を促進し、また、上で述べた自然的条件を満たさなければならない。

これと関連して、都市計画や交通計画においても、プロジェクトが環境や持続可能な発展に及ぼす影響を定量的に評価し、その結果を計画の段階において十分に反映する必要がある。Nijkamp and Perrels (1994)²³⁾は、「近年、環境や持続可能性に関する関心が高まってきて、計画者や政策決定者は、政策が環境に対して及ぼすインパクトを注意深く考慮するように要求されている。」と述べた。また Wilson (1997)³⁰⁾は、モデルが環境や持

続可能性に寄与することの重要性に関して指摘したうえ、社会の変化に伴ってモデルも変化し、モデルは多様な領域に対するインパクトを評価することができるように適用の範囲を拡張しなければならない、と主張した。そこで、土地利用・交通相互作用モデルはその適用の範囲を拡張し、環境質の改善や持続可能な発展に寄与できるように構築される必要がある。

(2) 土地利用・交通・環境の相互関連性

土地利用、交通、環境は相互に強い関連性を持っている。土地利用と交通との関連性および土地利用と交通が環境に及ぼす影響に関しては、第2章と3.1ですでに述べたが、その関係は図3.3.3のように示すことができる(1000 Friends of Oregon, 1997)¹²⁾。

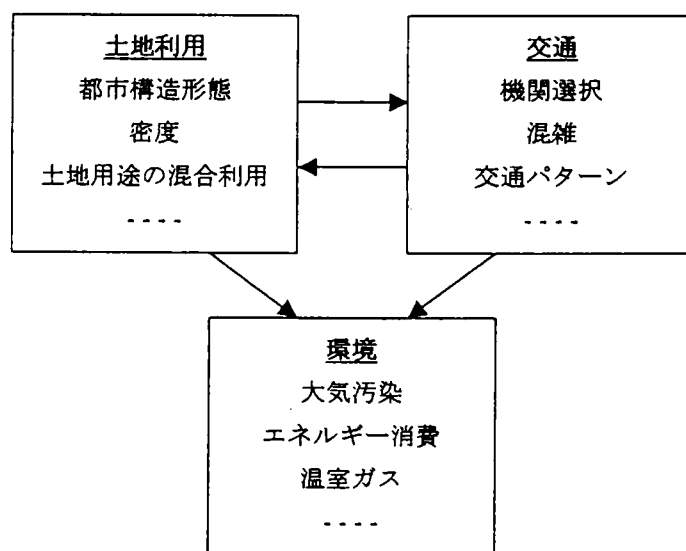


図 3.3.3 土地利用、交通、環境の関連性

ところが、実際交通計画においては、これらを総合的に考慮し評価することはほとんどできなかった。その結果、第2章で述べたように、都市のスプロール化、クルマ利用の増大、環境の悪化などの悪影響が生じるところもあった。

以上のことから、交通計画においては、交通に関する決定を、環境と土地利用の決定と統合的に行うべきであり、交通に関しての決定が環境及び土地利用に与える影響を、それが生じた後に対応しようとするのではなく、あらかじめ予想しておく必要がある。

そこで、相互に複雑に作用し合う土地利用、交通、環境を総合的に分析できる環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルが必要となる。

(3) 費用便益分析

3.1で述べた地球環境問題の深刻性により、プロジェクト評価においても、持続可能

性を費用便益分析に統合する必要がある。

これに関連して、Pearce et al (1994)¹⁹⁾ は、「プロジェクト評価をより良いものにするための最も重要な要件は、環境の価値を費用便益分析に統合することである。プロジェクト評価において環境の利得と損失が適切に評価されなければならない。」と主張した。さらに、彼らは、「自然資本ストックの減耗と劣化に制約を果たすことによって、持続可能性の条件を費用便益分析に導入する必要がある、また、純便益を生み出すすべてのプロジェクトは、環境被害をゼロまたはマイナスにするという要件のもとで企てるべきである。」と主張した。

ここで、持続可能性の制約が意味するのは、次の点である。

- ・ 所与の投資プログラムが環境に及ぼす可能性のある影響を注意深くチェックすること
- ・ 環境への被害合計額ができる限りゼロに近づくように計画を調整すること
- ・ 投資選択を調整する手段として、環境への便益を生み出すプロジェクトを採用すること

以上のことと関連して、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルは、CVM などの環境の経済的評価手法と結合して、環境への影響の理解というレベルと、それらの影響の評価というレベルの両面を満足させ、結果的には、投資プロジェクトを持続可能性の制約に従わせることを可能とする。そこで、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルが必要となる。

(4) 持続可能な発展論

本研究では、持続可能な発展の実現に向けて、各都市・地域別、各分野別からの、二つの経路のアプローチを提案し、その方法論として、各都市・地域においては、都市の持続可能な指標づくりを、各分野においては、交通分野における持続可能な交通戦略を提示した。提示した方法論と環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルとの関連性を表 3.3.4 および表 3.3.5 に示す。ただし、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルは、モデルの設計者によってその適用範囲が異なるので、第 5 章で示すような本研究で構築したモデルの適用範囲を基準とする。

都市の持続可能性指標と関連して、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの算出結果は直接的に持続可能性指標として利用できる。また、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルは、各政策が生み出した結果（経済・環境・社会などの面で）を総合的に把握できるようにすることによって持続可能な都市づくりへの政策判断を可能とする。すなわち、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルは、持続可能な都市づくりを支援する有効な手段として活用できる。しかし、既存の交通モデルによっては、このような総合的な判断は不可能であり、また都市の持続可能な指標との関連性は考慮していない。

持続可能な交通戦略と関連して、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要

性はもっと明確に現れる。環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルは、混雑や環境、土地利用、スプロールなど、持続可能な交通戦略の核心である統合的評価を可能とし、結果的に表 3.3.5 で見ると持続可能な交通戦略を支援する有効な手段となる。しかし、既存の交通モデルにおいては、土地利用、環境、エネルギーなどの持続可能性に関する分析および持続可能な交通戦略が主張している統合的評価は不可能であり、むしろ、このような持続可能性に関する分析および統合的評価を無視することによって、環境をさらに悪化させる可能性もある。

以上のことから、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルは持続可能な発展に大きく寄与するといえる。

表 3.3.4 都市の持続可能性指標と環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデル

持続可能性指標		本モデルとの関連性
環境	道路交通による排出ガス	●
	住居や企業などの地域の活動量による CO ₂ 排出量	●
	水質	▲
	生物の多様性	
	森林、農地などの非利用土地面積 (あるいは不透水域面積)	●
人口と資源	人口増加率	●
	人口当たり水消費量	▲
	ごみ排出量	▲
	エネルギー消費量	●
	人口当たり固形廃棄物とリサイクル量	
	太陽エネルギーなど再生可能エネルギー消費量	●
	農地面積	●
経済	人口当たり商業業務従業者数	●
	人口当たり工業従業者数	●
	10 大企業の雇用者割合	
	生計を営む収入を得るための労働時間	
社会	中・低所得者層のための住宅の余裕	
	自治体の税金収入	●
	少年犯罪発生率	
	貧困子供率	

● : 本モデルでの Output

▲ : 本モデルで産出可能

表 3.3.5 持続可能な交通戦略と環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデル

戦略	本モデルとの関連性
選択肢の多様化	●
需要管理	▲
決定過程	●
公教育	
都市計画と交通計画	●
環境保護と廃棄物の削減	●
土地利用	●
エネルギーの利用	●
より完全なコストの計算	▲
研究と技術革新	
雇用の創出	●

●：本モデルで適用可能 ▲：モデルの改善によって部分的に適用可能

3. 4 まとめ

本章では、土地利用・交通相互作用モデルの環境と持続可能性への拡張の必要性を示すため、地球環境問題の現状や背景、特徴、さらに、ローマ・クラブが指摘した成長の限界に関する問題を考察した。そして、これらの問題に対して解決の中心的な理論となっている持続可能な発展に関して考察を行い、現在の成長指向的な社会システムを持続可能なシステムに移行させる必要があることを示した。

ところが、持続可能な発展への移行の必要性にもかかわらず、持続可能な発展をどのように達成するかに関する方法論と目標体系が確立されていない状況であった。さらに、現在の地球環境問題が地域レベルでの汚染の集積の結果であるにもかかわらず、その根本的な原因を提供している地域レベルでは、地球的観点を取り入れた対応策とその基盤となる計画論は整備されておらず、また、各分野においても地球的観点を取り入れた政策や計画は構築されていないことが現状であった。

そこで、本研究では持続可能な発展の実現に向けて、各都市・地域別、各分野別からの、二つの経路のアプローチを提案し、その方法論として、各都市・地域においては、都市の持続可能な指標づくりを、各分野においては、交通分野における持続可能な交通戦略を提示した。そして、提示した戦略と環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルとの関連性を考察し、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルが、都市・地域における持続可能な発展戦略と持続可能な交通戦略に大きく寄与することを示した。

なお、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性を、地球環境問題と成長

の限界、土地利用・交通・環境の相互関連性、費用便益分析、持続可能な発展の実現のための方法論として提示した都市の持続可能性指標と持続可能な交通戦略との関連性、の4つの観点から示した。

[第3章参考文献]

- 1)保田 博・竹内 啓：環境保全と経済の発展，ダイヤモンド社，1994.
- 2)環境庁：環境白書，1998.
- 3)Fankhauser S. (1995) Valuing Climate Change, The Economics of the Greenhouse Effect, London, Earthscan.
- 4)Tol R.S.T. (1994) The Damage Costs of Climate Change: Towards More Comprehensive Calculations, revised edition; Working Document W94/, Free University, forthcoming.
- 5)植田和弘：環境経済学，岩波書店，1996.
- 6)Myers M. (1979) The Sinking Ark. A Look at the Problem of Disappearing Species, Pergamon, New York.
- 7)Lovejoy T. (1980) A Projection of Species Extinctions in G. Barney ed., The Global 2000 Report to the President, Council on Environmental Quality, Washington.
- 8)Raven P. (1988) Our Diminishing Tropical Forests in E.O.Wilson ed., Biodiversity, National Academy Press, Washington D.C.
- 9)Reid W.V. (1992) How many species will there be? In T.C.Whitnone and T.A.Sayer, Tropical Deforestation and Species Extinction, Chapman and Hall, London.
- 10)森口祐一：地球温暖化の対策，環境技術，Vol.25, No.5, 1996.
- 11)大聖泰弘：自動車単体対策によるCO₂の抑制，道路，1997.
- 12)1000 Friends of Oregon (1997) Making the Land Use, Transportation and Air Quality Connection (LUTRAQ), Vol.8, Making the Connections: Technical Report.
- 13)Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. & Behrens W.W.III, 大来佐武郎訳，成長の限界，ダイヤモンド社，1972.
- 14)Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., 茅 陽一訳，限界を超えて，ダイヤモンド社，1992.
- 15)Coomer J. (1979) The Nature of the Quest for a Sustainable Society in J.Coomer ed., Quest for a Sustainable Society, Oxford: Pergamon Press.
- 16)IUCN, WWF, and UNEP (1980) The World Conservation Strategy.
- 17)Brundtland H.G. (1986) Sir Peter Scott Lecture, Bristol.

- 18)World Commission on Environment and Development (WCED) (1987) Our Common Future. Oxford: Oxford University Press.
- 19)Pearce D., Markandya A. & Barbier E.B., 和田憲昌訳, 新しい環境経済学, ダイヤモンド社, 1994.
- 20)森田恒幸・川島康子・イサムイノハラ: 地球環境経済政策の目標体系, 環境研究, No.88, 1992.
- 21)Pearce D. (1988) Optimal Prices for Sustainable Development in D.Collard, D.Pearce and D.Ulph eds., Economics, Growth, and Sustainable Environment, London: MacMillan.
- 22)Barbier E. (1987) The Concept of Sustainable Economic Development, Environment Conservation, Vol.14, pp.101-110.
- 23)Nijkamp P. & Perrels A. (1994) Sustainable Cities in Europe. Earthscan Publications Ltd, London.
- 24)Nijkamp P. (1990) Urban Sustainability Gower, Avebury.
- 25)Maclaren V.W. (1996) Urban Sustainability Reporting, Journal of the American Planning Association, Vol.62, No.2, pp.184-202.
- 26)Sustainable Seattle (1993) Sustainable Seattle Indicators of Sustainable Community: A Report to Citizens on Long Term Trends in Their Community. Seattle, Washington: Sustainable Seattle.
- 27)Local Government Management Board (1993) A Framework for Sustainability: A Local Response by UK Local Government to the UK Government's First Strategy for Sustainability Development, London: Local Government Management Board.
- 28)OECD (1996) Towards Sustainable Transportation. OECD Vancouver Conference.
- 29)社会公共政策研究会: 社会公共政策への提言, (株)日本工業新聞社, 2000.
- 30)Wilson A.G. (1997) Land-use/transport interaction models. Journal of Transport Economic and Policy 32(1), 3-26.

第4章 既存の研究と本研究の立場

本章では、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの軌跡から、過去の研究の問題点および特徴を考察するとともに、また、比較的最近の研究に基づいて既存研究の問題点を分析する。さらに、土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向に関して考察を行う。そして、既存研究の問題点および土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向を踏まえて、本研究の立場について述べる。

4. 1 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの軌跡

4.1.1 土地利用・交通相互作用モデルの軌跡

1940年代から1950年代にかけて北アメリカでは自動車が急速に普及した。この新しいモビリティに対処するために道路計画を立案することが必要となり、そのために非常に政策指向的な交通モデルが開発された。そして1960年代になって、コンピュータの普及とともに標準的な4段階の需要予測手法が実用化されることになった。ところが、これらの交通モデルはいずれも交通が土地利用に及ぼす重大な影響を無視しており、土地利用と交通との間の相互作用は考慮されていなかった。そこで、土地利用へのフィードバックを無視して交通計画を立案することの問題を解決するため、交通施設整備による土地利用へのインパクトを予測する土地利用モデルの開発が必要となった。こうして土地利用モデルは、交通計画を交通モデルとともに補完し支援するために、非常に政策指向的なモデルとして誕生したのである。

これらの交通モデルと土地利用モデルを連結した土地利用・交通相互作用モデルは、1964年にローリーモデルが発表されて以来、様々なタイプのモデルが開発されているが、これらの様々な土地利用・交通相互作用モデルの系譜を整理したものとして青山の成果が挙げられる。青山(1984)¹⁾は、図4.1.1に示すように、空間的相互作用への計量的アプローチがモデルの骨格を決定するとし、都市活動の配分の考え方に重点を置いて土地利用・交通相互作用モデルの分類・系譜を明らかにしている。青山(1984)¹⁾の分類によると、土地利用・交通相互作用モデルは計量経済モデルと新都市経済学の間に位置し、前者から後者へ向かって、細分化、非集計化されている。以下に、青山(1984)¹⁾が示した土地利用・交通相互作用モデルの特徴と問題点を述べる。

グラビティモデルは土地利用・交通相互作用モデルの誕生以前から空間相互作用に関するモデルとして知られており、ライリーの小売グラビティモデルが先駆的である。ライリーはニュートンの万有引力の法則を利用して、「都市はそれがもつ人口規模に比例し、かつその都市からの距離の2乗に反比例して、周辺地域の町から小売販売量を吸引する」という都市相互間の小売取り引きを説明する簡単な法則を提案した。その後、グラビティモデ

ルは単一制約型のグラビティモデルから2重制約型のグラビティモデルまで発展した。しかし、グラビティモデルは静的な均衡モデルであり、また、明らかに経験法則で、理論的根拠に欠けている点が問題とされている。また、閉じた対象地域内の相互作用を扱っており、対象地域の境界を越えるトリップはないものと考えている点で問題があると言える。

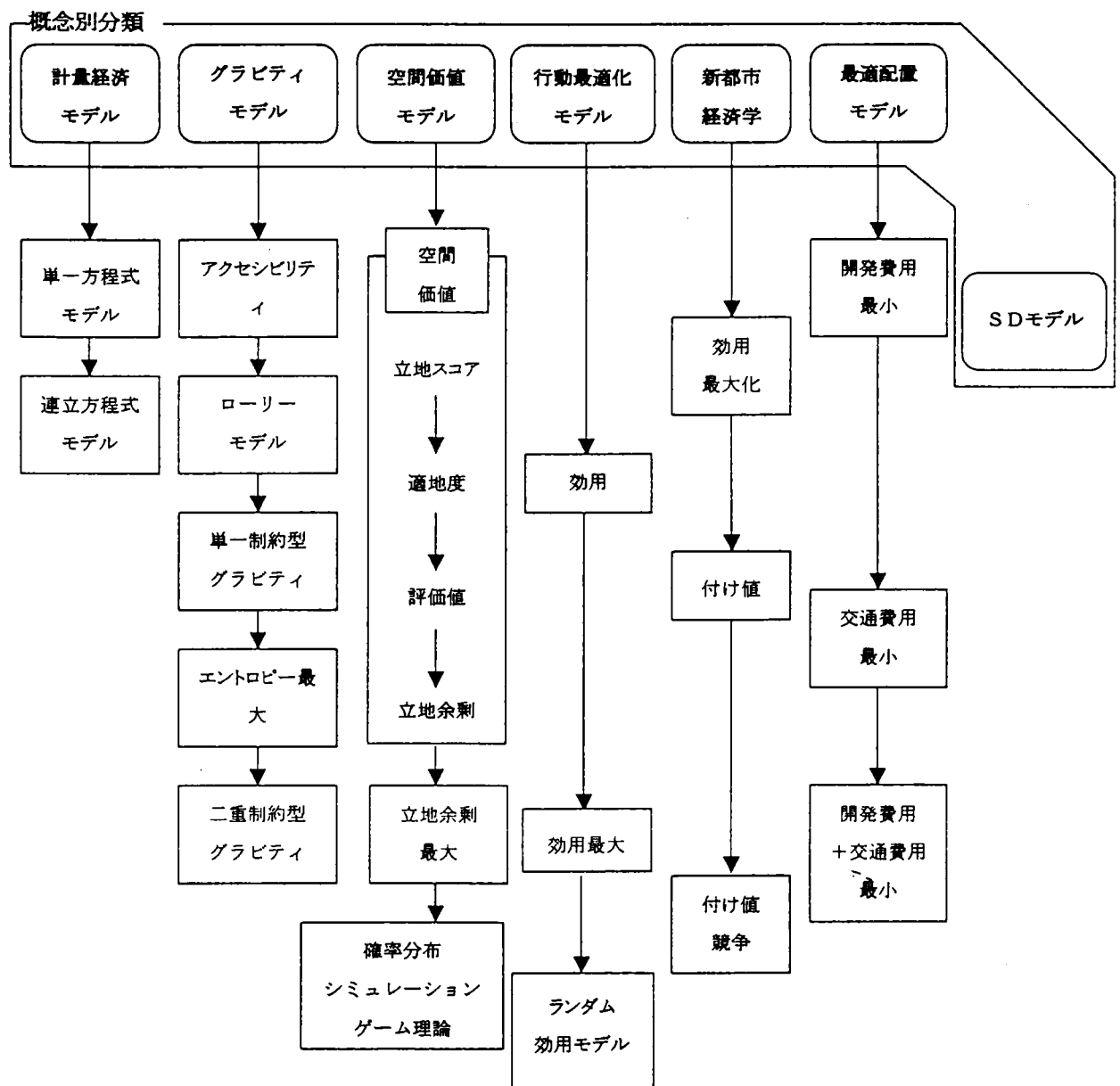


図 4.1.1 モデル化の概念

ローリーモデルはグラビティモデルの概念を用いた総合的モデルとして、土地利用・交通相互作用モデルの基本的構造を設定したという歴史的な意義を有している。しかし、ガリンによって再構成されたものの、整備による地価変動が表せないという問題点がある。

ガリン・ローリーモデルの基本的構造を踏襲しながら、各活動にとっての都市空間の利用価値をアクセシビリティなどの多くの要因から総合的に計量化したものが空間価値モデルである。このモデルは各立地主体の行動原理が明確化されていないという点で問題があると言える。例えば、このモデルの中で代表的な CALUTAS モデルにおいては、土地消費面積を固定しているため各主体の最適消費としての行動が明示的でなく、また、立地配分において地価を外生的に与えているため配分後に実現する立地余剰の水準が均等化していないという問題点がある。

計量経済学の連立方程式モデルは、都市内部の各ゾーンの空間価値を表す要因を必ず重要な外生変数の一つとして含んでいるものの、同時体系としての表現に重点が置かれ、空間価値の計量化は空間価値モデルと異なり簡単なアクセシビリティモデルを用いることが多い。また、各ゾーンにおける都市活動の水準を集計するモデルであり、ゾーン間の相互作用は取り扱っていない。

行動最適化モデルは、世帯、工業や商業という個体の集合を一つの独立した立地主体と捉えることにより、行動最適化の原理による行動をモデル化しており、新都市経済学モデルに近い、論理性にも優れたモデルである。また、ランダム効用理論の普及に伴い、立地主体の価値観の多様性や不完全情報化での行動を考慮することも可能となり、各立地主体の行動原理がより明確に表現できるようになっている。しかし、各立地主体間の立地競合が考慮されていないという欠点がある。

最適配置モデルは、開発の代替案を対象として、一定の制約条件のもとで最適解を求めることを目的としている。このモデルの中で代表的なモデルとしては TOPAZ モデルがあげられる。しかし、このモデルは、目的関数の設定などモデルの定式化が問題となり、必要なデータも一般に多量に要求される。

新都市経済学モデルは、都市経済学理論に基づいて構築されたモデルであり、立地主体の行動最適化および土地における付け値を介しての立地競合などの基本的な理論との整合性を重視している。しかし、理論モデルが多く、実用化には厳しい理論的制約を随伴する。

以上、青山 (1984)¹⁾ が示した土地利用・交通相互作用モデルの概念別分類に基づいて、従来の土地利用・交通相互作用モデルの問題点と特徴を、総括的に述べたが (Foot, 1981²⁾; 青山, 1984¹⁾)、土地利用・交通相互作用モデルはこれらの成果を踏まえてさらに発展されてきて、その理論的および実用的適用の範囲を拡張しつつある。

これらの最近の主要なモデルとしては、宮本 (1989) の RURBAN (Random Utility/Rent-Bidding Analysis) モデル³⁾、平谷ら (1993) のワルラス的な多市場同時均衡論モデル⁴⁾、小池ら (1997) のミクロ行動理論に基づく交通—立地モデル⁵⁾、宮城ら (1995) の数理最適化手法を基礎とした土地利用・交通統合モデル⁶⁾ などがあげられる。

宮本 (1989) の RURBAN モデル³⁾ は、ランダム効用およびランダム付け値の二つのモデルに基づいて構築されるモデルであり、土地市場均衡を各主体グループの効用水準と各ゾーンの地代を介して求めることにより、各種の主体の混合立地をモデル化したものであ

る。しかし、各立地主体の行動を効用最大化行動のみによって解析することが問題となり、土地供給者の行動も明示的に表現されていない。

平谷ら（1993）のワルラス的な多市場同時均衡論モデル⁴⁾は、土地市場と建物市場を同時に扱うために用いられるモデルであり、多くの土地利用モデルで用いられてきた付け値の概念ではなく、ワルラス的な多市場同時均衡に基づき、各市場における取引量と価格が内政的に決定される。しかし、このモデルは立地者、土地供給者の行動は確率論に基づいて表現されているが、開発者に関しては、決定論に基づいてモデル構築を行っており、また開発者の行動モデルは建物の建て替え費用を考慮していない。そして、データ量の増大に伴って均衡解の算出過程も複雑になり、均衡解の算出は多くの努力を要する。特に、このモデルは、土地市場にワルラス的な均衡概念を導入することによって、「最も高い地代を付けた者がその土地の利用者となる」という土地市場の原則を無視している（中村・田淵, 1997）⁷⁾。

小池ら（1997）のミクロ行動理論に基づく交通—立地モデル⁵⁾は、ミクロ経済学的行動モデルを基本に多市場同時均衡論モデルのフレームで立地均衡モデルと交通需要モデルを統合化したモデルである。しかし、土地は短期的には政策的に住宅地と業務地に分割されているものと仮定し、土地市場における均衡を定式化しているため、ワルラス的な多市場同時均衡論モデルと同じように、付け値地代に関する土地市場の原則を無視している。また、このモデルは数値シミュレーションに基づく分析を行っており、現実の交通問題に対応するには問題が生じる。

宮城ら（1995）の数理最適化手法を基礎とした土地利用・交通統合モデル⁶⁾は、ローリー型の土地利用モデルと機関分担—配分統合モデルを結合し、これを一つの数理最適化問題として定式化しており、地価を内生化することによってローリー型の土地利用モデルの問題点を改善している。しかし、このモデルは企業立地を含んでおらず、また、地価を内生化したものの土地供給者の行動はモデルに含まれていない。そして、このモデルの中の立地モデルは立地経済理論に基づくものではない。

以上、最近の主要なモデルの問題点と特徴を述べたが、青山（1984）¹⁾は、今後開発される土地利用・交通相互作用モデルが継承し発展させる必要がある概念として以下の6点を取り上げている。

- ① 土地の利用価値を意味し、効用、地価、付け値などが重要となる空間価値
- ② ガリンローリーモデルで表されるような乗数効果
- ③ 予測モデルであるために必要である動学化
- ④ 市場経済における均衡
- ⑤ パレート効率性を有する配分
- ⑥ 価格競争による立地競合

4.1.2 環境と持続可能性の考慮

1980年代後半以降、地球温暖化、オゾン層の破壊、熱帯雨林をはじめとする森林の消滅、多くの動植物種の絶滅など、地球規模で環境問題が深刻化していることが明らかになり、都市計画や交通計画においては、プロジェクトが環境や持続可能な発展に及ぼす影響を定量的に評価し、その結果を計画の段階において十分に反映するように要求された。これに関連して、Wilson (1997)⁸⁾ は、モデルが環境や持続可能性に寄与することの重要性に関して指摘したうえ、社会の変化に伴って土地利用・交通相互作用モデルもその適用の範囲を拡張し、環境質の改善や持続可能な発展に寄与できるように構築されなければならないと主張した。

このような背景のもとで、土地利用・交通相互作用モデルはその適用の範囲を拡張し、環境と持続可能性をも考慮するようになり、多くの環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルが開発されてきた (Hayashi and Roy, 1996⁹⁾; Kitamura et al, 1996¹⁰⁾; 1000 Friends of Oregon, 1997¹¹⁾; Tomita et al, 1999¹²⁾; Yoon et al, 2001¹³⁾; 宮本, 1997¹⁴⁾)。

さらに、OECD (1996)¹⁵⁾ によって、環境質の改善を求める持続可能な交通のための原則が提案され、土地利用、交通、環境の統合された計画が求められるようになり、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルはもっとその適用の必要性が高まりつつある。

4. 2 既存の研究の問題点と土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向

4.2.1 既存の研究の問題点

交通モデルによる需要予測手法としては、いわゆる4段階推定法が確立されており、交通計画の中に定着している。しかし、土地利用・交通モデルについてはこうした確立化がなされず、土地利用と交通の計画の中に土地利用・交通モデルが定着するまでには至っていない。こうした理由として、土地利用・交通モデルの理論や構造などからくる理論的信頼性の欠如と、データや理論的制約からくる実用性の問題があげられる。

まず、既存の土地利用・交通相互作用モデルの第一の問題点としては、土地供給に関する行動の不明確性があげられる。

土地供給に関する既存の研究は、外生的に供給面積を与えているものと、内生的に決定しているものに分けられる。内生的に供給面積を決定している研究は、さらに、確率論的に土地供給面積をモデル化したものと、資産選択行動をモデル化したものの二つに大別できる。

森杉ら (1987)¹⁶⁾ は社会経済指標などを説明変数とした土地供給関数によって外生的に土地供給面積を決定している。宮本 (1989)³⁾ と林ら (1989)¹⁷⁾ は総土地供給面積に関しては外生的に与え、各主体に対する土地供給面積は、ランダム付け値理論から最大付け値を付ける確率によって供給するとしている。また、小池ら (1997)⁵⁾ は土地が短期的

には住宅地と業務地に分割されているものと仮定しているが、それぞれの土地供給面積は同じように外生的に与えている。

これに関して、平谷ら（1993）⁴⁾と上田ら（1995）¹⁸⁾は土地供給者の保有・賃貸に関する選択行動を、確率論の立場に立脚し、保有と賃貸の効用差によってロジット・モデルで表現しており、この確率によって土地供給者が農地からの転用面積を決定している。しかし、これらのモデルは土地供給者の保有・賃貸に関する選択行動を考慮しているものの、土地供給者が資産の保有形態に関する選択によって自分の効用を最大化する資産選択行動に関しては考慮していない。

また、大橋・青山（1988）¹⁹⁾、大橋ら（1995）²⁰⁾は土地供給者が土地資産と一般財からなる自分の資産に対して効用を最大化するような資産選択を行うと考え、土地供給者の資産選択モデルを構築したが、森杉ら（1987）¹⁸⁾が指摘している土地需要者の住み替え、土地税制などは考慮していない。高木ら（1996）²¹⁾は大橋・青山（1988）¹⁹⁾のモデルを参考に土地供給者の資産選択行動を考えているが、理論的根拠を示していない。

第二の問題点としては、価格競争による立地競争があげられる。

土地は、普通の経済的意味における財という特性と、他の財とは違って完全に固定されているという特性の、二重の特性を有する複雑なものである（Fujita, 1989）²²⁾。このような土地が持つ特殊性から、土地市場には異なる主体間の土地をめぐる競争が発生する。このため、土地市場における原則は、「最も高い地代を付けた者がその土地の利用者となること」である（中村・田淵, 1997）⁷⁾。これに関連して佐々木・文（2000）²³⁾は、利潤最大化を行う土地供給者は最も高い付け値を提示した個人に、その付け値に等しい価格で土地を貸すのが土地価格の決定方法であると主張した。

しかし、4. 1で述べたように、平谷ら（1993）⁴⁾はこのような土地市場における原則を考慮していなく、さらに小池ら（1997）⁵⁾は土地が短期的には政策的に住宅地と業務地に分割されているものと仮定することによってこの原則を無視している。

一方、宮本（1989）³⁾はランダム付け値理論から立地主体間の土地をめぐる競争を表現しているが、各立地主体の付け値は各立地主体の行動原理から求められておらず、家計の行動原理である効用のみによって求められるとし、理論性にかけている。

第三の問題点としては、主体の立地動態別分類があげられる。

既存のモデルでは、対象地域のすべての主体を立地配分する場合が多い。しかし実際には、 t 期から $t+1$ 期の間に対象地域のすべての主体が、立地地点を変更するわけではない。

これに関連して、Clapp（1984）²⁴⁾は「移転費用は立地選択において重要な要素である。家計と企業は、移転によるアクセシビリティ便益が移転費用より小さい場合には移転しない。さらに、企業の移転は新規立地の便益が移動費用よりもっと大きくなるまで起こらない」と主張した。しかし、既存の大部分の研究は、このような移転費用を無視しながらも、すべての活動主体を立地配分させ評価を行っており、これによって対象地域の各ゾーンにおいては実際より過大評価あるいは過小評価された可能性が高い。そこで、活動主体の立

地配分においては、移転や住み替え、新規立地などの立地需要主体数のみを立地配分させる必要がある。

芝原（1991）²⁵⁾は、既存の大半の土地利用モデルが固定層を含めたすべての層を立地配分対象とするか、更新層のみを立地配分対象としていることに対して、浮動層、固定層の概念を導入することによって、新規需要がなくても浮動層（内部移転）の存在により土地利用現象の変化を表現することが可能となるようにモデル化した。なお、森杉ら（1991）²⁶⁾は世帯の住み替え行動をロジットモデルで確率的に表現し、立地配分を行っている。

そして、既存の土地利用・交通相互作用モデルの問題点としてあげられるのが、開発されたモデルの実際計画における実用性に関する問題である。

Miyamoto & Kitazume（1989）²⁷⁾は、既存の土地利用モデルを大きく理論モデルと応用モデルに分類する。前者タイプのモデルは都市経済学理論に基づいて構築されたモデルであり、理論的に精密であるという論理性が何より特徴であるが、現実から乖離して一般に実際の都市に応用しにくい。後者タイプのモデルは操作的であるが、都市経済学で説明する理論を正確に表現しておらず、むしろ上で述べたようにその理論を無視した場合も多かった。そこで、都市経済学で説明する正確な理論に基づいた応用モデルが要求されることとなる。

なお、上田ら（1995）¹⁸⁾が主張しているワルラス的な多市場同時均衡論モデルにおいても、データ量の増大に伴って均衡解の算出過程も複雑になることなどの実用性に関する課題を残している。

一方、その適用の範囲を拡張した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの問題点としてあげられるのが、環境汚染要因の設定範囲である。

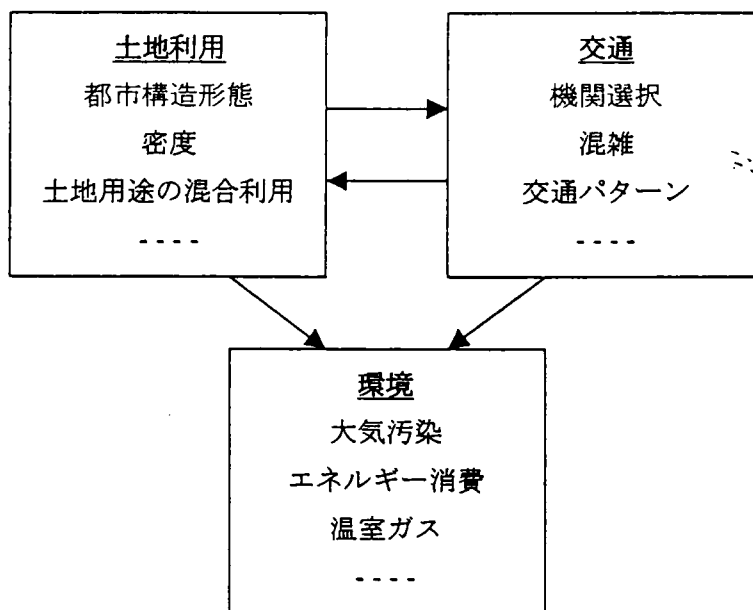


図 3.3.6 土地利用、交通、環境の関連性

第3章で述べたように、土地利用、交通、環境との関係は図3.3.6のように示すことができる(1000 Friends of Oregon, 1997)¹¹⁾。すなわち、環境への影響は土地利用および交通からの二つの経路によって及ぼされる。しかし、既存の研究はと交通からのインパクトあるいは土地利用からのインパクトといった一つの経路のインパクトのみを分析対象としている場合が多い。特に、土地利用、交通、環境を統合した統合モデルにおいては、モデルの構造上あるいは技術的な問題などによって、交通からのインパクトのみを分析対象とし、都市の持続可能な発展計画および第3章で示した都市の持続可能性指標づくりへの影響力を減少させている。

例えば、Kitamura *et al* (1996)¹⁰⁾、Tomita *et al* (1999)¹²⁾、Young & Gu (1996)²⁸⁾ はモデル上で土地利用から環境への直接的なインパクトを考慮しておらず、また、宮本(1997)¹⁴⁾ はモデルの構造としては図3.3.6のような土地利用と交通の二つの経路による環境への影響分析を示しているが、実際には環境モデルの具体的な実態と理論的根拠を示していない。そして、1000 Friends of Oregon (1997)¹¹⁾ も、図3.3.6のような構造を示しているが、土地利用の変化による対象地域における各ゾーンの環境指標の変化は示していない。

地球環境問題の背景として、環境汚染物質の越境移動が問題となることと同じように、環境汚染物質を排出する活動量の地域間移転も移転先地域の環境悪化を誘発し、結果的には移転先地域の持続可能な発展を阻害することになる。そこで、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルはこれらのことも考慮して土地利用の変化から生じる環境へのインパクトを分析できるように構築される必要がある。

4.2.2 土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向

Giuliano (1989)²⁹⁾ は、交通費用と立地選択の関連性は有効であるが、立地選択において交通費用はもはや核心的な要素ではないと主張し、その理由として以下の3点を示した。

- ① 立地選択の差を軽減することに成功した交通システム構築と分散の結果
- ② 経済活動の構造の変化と関連して：
 - ・ 経済活動において財の輸送の代わりに情報の輸送の比重が高くなって、相対的に交通費用の重要性が低下
 - ・ 企業における市場の国際的・全国的拡大によって既存の大都市圏への接近性より州間高速道路や主要空港への接近性をもっと重要になった。
- ③ 集積経済と混雑費用とのトレード・オフに及ぼす交通費用の役割と関連して：混雑費用は外部経済であり集積便益は企業に直接的に生じるからこのトレード・オフは有効ではない。

さらに、Payne-Maxie Consultants (1980)³⁰⁾ は、都市周辺の循環道路 (beltways) のインパクトと関連した研究で循環道路と土地利用の関連性は存在しないと主張し、土地利用にインパクトを及ぼす要因として、①地域全体の経済状況、②中所得層および高所得層地域への接近性、③開発する土地の利用度、④有利な地域のゾーニング政策、の4点のみを取り上げた。

また、4.2.1 で述べたように Clapp (1984)²⁴⁾ は「移転費用は立地選択において重要な要素である。家計と企業は、移転によるアクセシビリティ便益が移転費用より小さい場合には移転しない。さらに、企業の移転は新規立地の便益が移動費用よりもっと大きくなるまで起こらない」と主張し、立地選択モデルにおける移転費用の重要性を強調した。

以上の背景のもとで Giuliano (1989)²⁹⁾ は、既存の土地利用・交通相互作用モデルに以下の要素が加わる必要があると主張した。

① 住居立地と関連して

- ・ 雇用機会への接近性の最大化
- ・ 既存モデルの確率項の具体化：サービス機会およびレクリエーション機会への接近性、近隣の特性など
- ・ 交通費用に関する柔軟性ある考慮：通勤費用より総合的な交通費用の考慮

② 企業立地と関連して

- ・ 集積の経済
- ・ 地域特性：労働力、地域政策など

4. 3 本研究の立場

本研究では、4. 2 で示した既存の研究の問題点および土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向を踏まえて環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを構築するとともに、構築したモデルの必要性を実証的に証明し、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルが実際計画において用いられるように、また、実務レベルまで定着するようにすることを目指す。

まず、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの構築と関連して、理論的完結性を満足させながらも実用性を兼備するようにモデルを構築するとともに、既存の研究の問題点を改善させ、土地供給者の行動と立地競合を明確化する。また、交通部門だけではなく土地利用の変化から生じる環境へのインパクトを分析できるように、環境モデルを構築する。さらに、土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向から、立地選択モデルにおいては集積経済、サービスやレクリエーション機会などの生活機会への接近性を考慮する。なお、移転費用と住み替え費用の考慮はデータなどの問題があるため、立地を変更

する立地需要主体数のみを立地配分させるよう、立地需要主体数算定モデルを構築する。

そして、構築したモデルの必要性に関する実証的な証明と関連しては、数値シミュレーションに基づく分析ではなく、実際対象地域の計画路線の整備を仮定し分析を行う。特に、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性を証明するために、土地利用と交通との相互作用を考慮しない既存の4段階推定法に基づいた伝統的な交通モデル（以下、既存の交通モデル）による利用者便益と、本研究で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルによる利用者便益の比較分析を行う。また、既存の交通モデルでは評価が不可能であった、プロジェクト実施による土地利用および都市空間構造の変化、特にスプロールへの影響や間接効果を分析することによって、このモデルの必要性を証明する。さらに、持続可能な交通に関連しては、本研究で構築したモデルによりTDM施策による環境負荷軽減効果を評価し、その施策の導入を主張する。

一方、上田・堤（1999）³⁾¹⁾は、土地の高度利用の促進や容積率規制の政策効果分析などのため、建物床市場を明示的にモデル化する必要があると主張している。しかし、建物床に関するデータは十分に整備されていないなどの実用性に関する問題がある。また、彼らが、土地市場と建物市場を同時に考慮していると示しているワルラス的な多市場同時均衡論モデル（平谷ら，1993⁴⁾；上田ら，1995¹⁾⁸⁾）は、開発者のコブ・ダグラス型生産関数を規模に関して収穫逓減として仮定することや、開発者の土地に関する価格競争を表現していないなどの理論的問題を持っている。そこで、本研究では実用性を考慮し、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの構築においては開発者の行動を考慮しないが、建物床に関するデータが整備されることを期待して、構築する環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルと一体化された開発者の行動に関する正確な理論的展開を、付録2に示す。

[第4章参考文献]

- 1) 青山吉隆：土地利用モデルの歴史と概念，土木学会論文集，No.347，pp.19-28，1984.
- 2) Foot D.，青山吉隆・戸田常一・阿部宏史・近藤光男訳：都市モデルー手法と応用，丸善株式会社，1984.
- 3) 宮本和明：ランダム効用および付け値分析に基づく土地利用モデルの札幌都市圏における適用，土木計画学研究・講演集，No.12，pp.675-680，1989.
- 4) 平谷浩三・中村英夫・上田孝行・堤盛人：土地と建物の多市場同時均衡に基づく土地利用交通モデル，土木計画学研究・講演集，No.16(1)，pp.545-552，1993.
- 5) 小池淳司・上田孝行・小森俊文：ミクロ行動理論に基づく交通ー立地モデルの開発，土木計画学研究・論文集，No.14，pp.259-267，1997.
- 6) 宮城俊彦・奥田豊・加藤人士：数理最適化手法を基礎とした土地利用・交通統合モデル

- に関する研究, 土木学会論文集, No.518/IV-28, pp.95-105, 1995.
- 7)中村良平・田渕隆俊：都市と地域の経済学, (株)有斐閣, 1997.
 - 8)Wilson A.G. (1997) Land-use/transport interaction models. *Journal of Transport Economic and Policy* 32(1), 3-26.
 - 9)Hayashi and Roy (1996) *Transport, Land-Use and the Environment*. Kluwer Academic Publishers.
 - 10)Kitamura R., Pas E.I., Lula C.V., Lawton T. & Benson P.E. (1996) The sequenced activity mobility simulator (SAMS): an integrated approach to modeling transportation, land use and air quality. *Transportation* 23, 267-291.
 - 11)1000 Friends of Oregon (1997) Making the Land Use, Transportation and Air Quality Connection (LUTRAQ), Vol.8, Making the Connections: Technical Report.
 - 12)Tomita Y., Hayashi Y., Kato H. & Hammad A. (1999) Land-Use and Transport Model for Impact Analysis of Nagoya Orbital Motorway. Paper presented at SIGI/NECTAR SEMINAR, held at University of Kent in Canterbury.
 - 13)Yoon J., Aoyama Y., Nakagawa D. & Matsunaka R. (2001) An Evaluation of Urban and Transport Policy Using a Land-Use/Transport Interaction Model. *Proceedings of the Ninth World Conference on Transport Research*, CD-ROM.
 - 14)宮本和明：土地利用・交通・環境総合計画分析のためのパーソナルコンピューターシステムの構築 (課題番号 07650616), 平成7・8年度科学研究費補助金(基盤研究C、2), 研究成果報告書, 1997.
 - 15)OECD (1996) *Towards Sustainable Transportation*. OECD Vancouver Conference.
 - 16)森杉壽芳・大野栄治・松浦郁雄：地価を内生化した住宅立地モデル, *地域学研究* 第18巻, 1987.
 - 17)林良嗣・土井健司・奥田隆明：外部経済効果を考慮した都市交通改善がもたらす開発利益の帰着分析モデル, 土木学会論文集, No.407/IV-11, pp.67-76, 1989.
 - 18)上田孝行・中村英夫・赤土大介・Ahsan H.M.：交通・立地分析モデルによる鉄道新線整備の影響分析, 土木計画学研究・講演集, No.17, pp.131-134, 1995.
 - 19)大橋健一・青山吉隆：土地政策からみた地域の開発効果の計量化に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.11, pp.391-397, 1988.
 - 20)大橋健一・青山吉隆・近藤光男：土地需給を考慮した市街化過程のマクロモデルの時系列データへの適用, 土木計画学研究・論文集, No.12, pp.215-222, 1995.
 - 21)高木朗義・森杉壽芳・上田孝行・西川幸雄・佐藤尚：立地均衡モデルを用いた治水投資の便益評価手法に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp.339-348, 1996.
 - 22)Fujita M. (1989) *Urban economic theory*, Cambridge University Press.
 - 23)佐々木公明・文 世一：都市経済学の基礎, (株)有斐閣, 2000.
 - 24)Clapp J.M. (1984) Endogenous centers: a simple departure from the NUE model.

Papers of the Regional Science Association 54, 13-24.

- 25)芝原靖典：公共事業にかかわる土地問題の社会システム論的研究，京都大学学位論文，1991.
- 26)森杉壽芳・大野栄治・宮城俊彦：住環境整備による住み替え便益の定義と計測モデル，土木学会論文集，No.425/IV-14, pp.117-125, 1991.
- 27)Miyamoto K. & Kitazume K. (1989) A Land-Use Model based on Random Utility/Rent-Bidding Analysis. Proceedings of the Fifth World Conference on Transport Research, Vol.4, pp.107-121.
- 28)Young W. & Gu K. (1996) Educating Planners in Testing of Alternative Strategies for Cities of Different Sizes. Y.Hayashi and J.Roy (eds.), Transport, Land-Use and the Environment, 147-169.
- 29)Giuliano G. (1989) Research policy and review 27: New directions for understanding transportation and land use. Environment and Planning A, Vol.21, pp.145-159.
- 30)Payne-Maxie Consultants (1980) The land use and urban development impacts of beltways, final report DOT-OS-90079, US Department of Transportation and Department of Housing and Urban Development; Blayney-Dyett Urban and Regional Planner, 177 Post Street, Suite 750, San Francisco, CA94108, subcontractors to Payne-Maxie Consultants, prime contractor.
- 31)上田孝行・堤 盛人：わが国における近年の土地利用モデルに関する統合フレームについて，土木学会論文集，No.625/IV-44, pp.65-78, 1999.

第5章 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの構築

本章では、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの構築を行う。環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの全体構成および本モデルの構築における仮定と特徴を述べた後、土地利用モデル、交通モデル、環境モデルの理論的背景の記述およびモデルの定式化を行う。

5.1 本モデルの構成と特徴

5.1.1 本モデルの構成

本研究で構築する環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの全体構成は、図 5.1.1 に示すように交通モデル、土地利用モデル、環境モデルから構成されている。

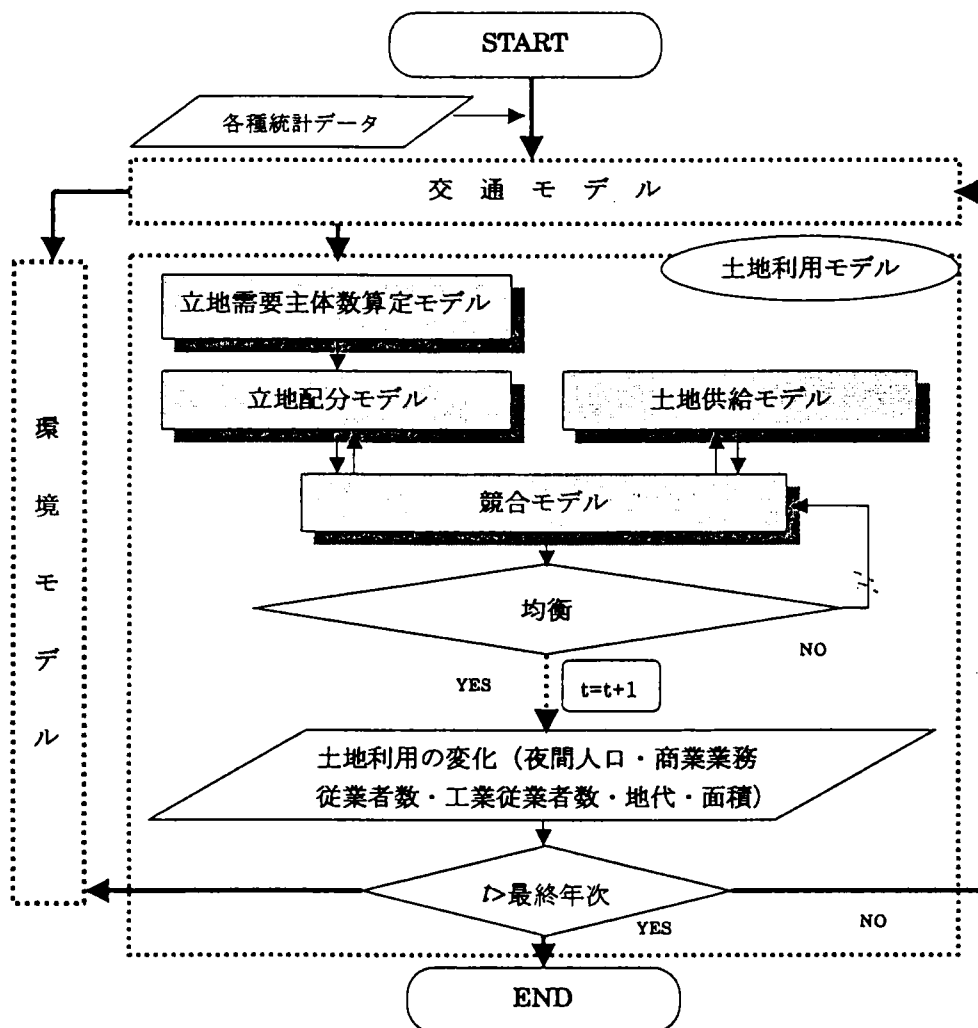


図 5.1.1 本モデルの構成

交通モデルは、実用性の観点から基本的には4段階推定法として構成されている。しかし、本研究の目的である土地利用変化のみによる誘発交通のインパクトを分析するため、交通機関分担率は固定されている。交通モデルのアウトプットは、道路交通流に関する交通量や速度、距離、ゾーン間の交通費用などである。

土地利用モデルは、立地需要主体数算定モデル、立地配分モデル、土地供給モデル、競合モデルの四つのサブモデルから構成されており、アウトプットは各ゾーンにおける人口、商業業務従業者数、工業従業者数、地代、各主体別の土地占有面積などである。

まず、立地需要主体数算定モデルは、各立地主体別に立地を変更する立地主体数を求めるモデルである。本研究では、主体を立地動態別に留保層と変動層に分類し、転入人口や対象地域内の内部移転、新規企業の設立などの変動層だけを立地配分対象とする。

立地配分モデルは、最大効用あるいは利潤を与える各ゾーンの確率によって立地需要主体数を立地配分するモデルである。交通モデルからのゾーン間の交通費用の変化は、立地配分モデルの説明変数であるアクセシビリティと各ゾーンの魅力度を変化させ、立地需要主体数の立地選択に影響を与える。

土地供給モデルは、土地供給者の資産選択行動による土地供給をモデル化したものである。利潤最大化を行う土地供給者は、競合モデルからの立地主体の最大付け値を付ける確率によって土地を供給する。

そして、土地市場における均衡は、立地需要面積と土地供給面積の相等関係から得られる。

なお、本モデルにおける土地利用と交通との相互作用の表現とこれにかかわる交通費用の役割は以下の通りである。

ゾーン間の交通費用は、交通モデルのアウトプットであり、土地利用モデルのインプットである。土地利用モデルに入力されるゾーン交通費用は、立地選択において重要な役割をする。すなわち、ゾーン間の交通費用の変化は、立地配分モデルにおけるゾーンの交通条件(G_{MI} 、 $PACS_{MI}$)とアクセシビリティを変化させ、ゾーンの魅力度を変化させる。これによって、各ゾーンの人口や従業者数、地代などは影響を受け変化する。ここで、変化した各ゾーンの人口や商業業務従業者数、工業従業者数は土地利用モデルのアウトプットであり、交通モデルのインプットである。土地利用モデルからアウトプットされた各ゾーンの人口や商業業務従業者数、工業従業者数は、交通モデルにインプットされ、各ゾーンの発生集中交通量とゾーン間の交通量を変化させる。その結果、交通量配分によってゾーン間の交通費用も変化し、これは再び土地利用モデルに入力され、ゾーンの効用を変化させる。本モデルは、このような方法によって土地利用と交通との相互作用を表現する。

最後に、環境モデルは、土地利用モデルと交通モデルからのアウトプットを環境指標に変換するモデルであり、アウトプットはエネルギー使用量、CO₂排出量、NO_x排出量である。

5.1.2 本モデルの特徴

本モデルの構築における仮定と特徴を以下に示す。

- ① 主体として住宅立地者、工業立地者、商業業務立地者、土地供給者の4つを考える。
- ② 各主体の行動をすべて最適化行動として捉える。
住宅立地者の行動は効用最大化、工業と商業業務立地者の行動は利潤最大化、土地供給者の行動は資産選択による期待効用最大化と捉え、モデル化する。
- ③ 一つのゾーンには1人の大地主が存在し、すべての土地を所有していると仮定する。
- ④ 土地市場は土地に対する用途規制を考慮し、住宅地・商業業務地と工業地の二つに分類されていると仮定する。
- ⑤ 主体の立地動態別の分類

4.2.1 で述べたように、既存の大部分の研究は移転費用を無視しながらも、対象地域のすべての主体を立地配分する場合が多い。しかし実際には、 t 期から $t+1$ 期の間に対象地域のすべての主体が、立地地点を変更するわけではない。そこで本研究では、表 5.1.1 に示すように、主体を立地動態別に留保層と変動層に分類し、変動層をさらに新規層と移動層に分類し、変動層だけを立地配分対象とする。

表 5.1.1 立地主体の立地動態別分類

$t+1$ 期の 立地現状量	留保層		t 期から $t+1$ 期の間に変動を留保した活動量
	変動層	新規層	t 期から $t+1$ 期の間に他地域からの転入、あるいは新しく増加した活動量
		移動層	t 期から $t+1$ 期の間に対象地域Z内で移動した活動量 (すなわち、対象地域Z内のゾーン間あるいはゾーン内での移動)

⑥ 立地主体の単位

立地配分を行う際には、世帯の場合には世帯当たりの人数が異なり、工業と商業業務の場合には事業所ごとの規模の差が大きい、という問題があるため、本モデルでは立地需要主体数として、人口、工業従業者数、商業業務従業者数を用いる。

5. 2 土地利用モデル

5.2.1 立地需要主体数算定モデル

(1) 住宅立地主体 ($M=1$)

対象地域Zの夜間人口は、図5.2.1に示すように、対象地域Z内で居住ゾーンを移動する住み替え人口（移動層）や他地域からの転入人口（新規層）により構成される変動層、および留保層から構成される。したがって、立地配分を行う際の住宅立地主体の立地需要主体数を求めるために、対象地域Z内のゾーンIからの転出人口、対象地域Zへの転入人口、および対象地域Zから対象地域外への転出人口を求めなければならない。また、対象地域Z内の人口はこのような社会経済的な変動以外に、中長期的には自然増減によっても変化するため、自然増減による人口変動も考慮する必要がある。以上のような考え方にに基づき、住宅立地需要主体数の算定式を式(5.1)～(5.6)に示す。

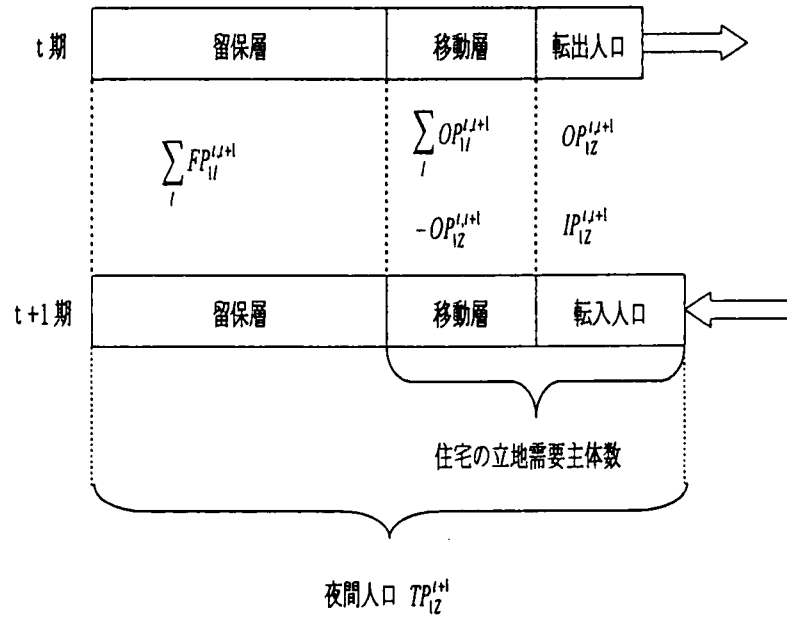


図 5.2.1 住宅の立地需要主体数

$$TP_{M=1,Z}^{t+1} = \left(\sum_I FP_{M=1,I}^{t,t+1} \right) + \left(IP_{M=1,Z}^{t,t+1} \right) + \left(\sum_I OP_{M=1,I}^{t,t+1} - OP_{M=1,Z}^{t,t+1} \right) \quad (5.1)$$

ただし、

$TP_{M=1,Z}^{t+1}$: 対象地域Zにおける夜間人口

$FP_{M=1,I}^{t,t+1}$: ゾーンIにおける留保人口（留保層）

$$FP_{M=1,I}^{t,t+1} = (1 + \xi_I) \cdot TP_{M=1,I}^t - OP_{M=1,I}^{t,t+1} \quad (5.2)$$

$$\xi_I = b_0 + b_1 \ln(t) \quad (5.3)$$

ξ_I : 自然増減率

t : 年次

b_0, b_1 : パラメータ

$OP_{M=1,I}^{t,t+1}$: ゾーン I からの転出入口 (対象地域 Z 外への転出を含む)

$$OP_{M=1,I}^{t,t+1} = \sum_k \varphi_k H'_{Ik} \quad (5.4)$$

H'_{Ik} : t 期におけるゾーン I の k 番目の説明変数

φ_k : パラメータ

$IP_{M=1,Z}^{t,t+1}$: 対象地域 Z への転入人口 (新規層)

$$IP_{M=1,Z}^{t,t+1} = \rho_{in} TP_{M=1,Z}^t \quad (5.5)$$

ρ_{in} : 対象地域 Z への転入率

$OP_{M=1,Z}^{t,t+1}$: 対象地域 Z から外部への転出入口

$$OP_{M=1,Z}^{t,t+1} = \rho_{out} TP_{M=1,Z}^t \quad (5.6)$$

ρ_{out} : 対象地域 Z 外部への転出率

$\sum_I OP_{M=1,I}^{t,t+1} - OP_{M=1,Z}^{t,t+1}$: 住み替え人口

(2) 工業および商業業務立地主体 ($M=2,3$)

対象地域 Z における工業および商業業務立地主体は、図 5.2.2 に示すように、新規に立地する新規層や留保層から構成される。データの収集可能性を考慮して、工業および商業業務立地主体の場合には移動層を考えず、地域内で移動した場合、移動元のゾーンでは倒産・廃棄として扱い、移動先のゾーンでは新規設立として扱うこととする。

このモデルでは、ローリー型経済基礎メカニズムの考え方に基づいて (Foot, 1984)¹⁾、対象地域 Z における従業者数と夜間人口の関係を人口一雇用比率 $o_{M=2,3}$ として把握し、変動従業者数を求める。

$$TP_{M=2,3,Z}^{t+1} = \left(\sum_I FP_{M=2,3,I}^{t,t+1} \right) + (IP_{M=2,3,Z}^{t,t+1}) \quad (5.7)$$

ただし、

$TP_{M=2,3,Z}^{t+1}$: 対象地域 Z の従業者数

$FP_{M=2,3,I}^{t,t+1}$: ゾーン I の留保従業者数 (留保層)

$$FP_{M=2,3,I}^{t,t+1} = \phi_{M=2,3,I} \cdot TP_{M=2,3,I}^t \quad (5.8)$$

$\phi_{M=2,3,I}$: ゾーン I における主体 M の存続率

$IP_{M=2,3,Z}^{t,t+1}$: 対象地域 Z の新規従業者数 (新規層)

$$IP_{M=2,3,Z}^{t,t+1} = o_{M=2,3} \cdot TP_{M=1,Z}^{t+1} \sum_I FP_{M=2,3,I}^{t,t+1} \quad (5.9)$$

$o_{M=2,3}$: 対象地域 Z における主体 M の従業者比率

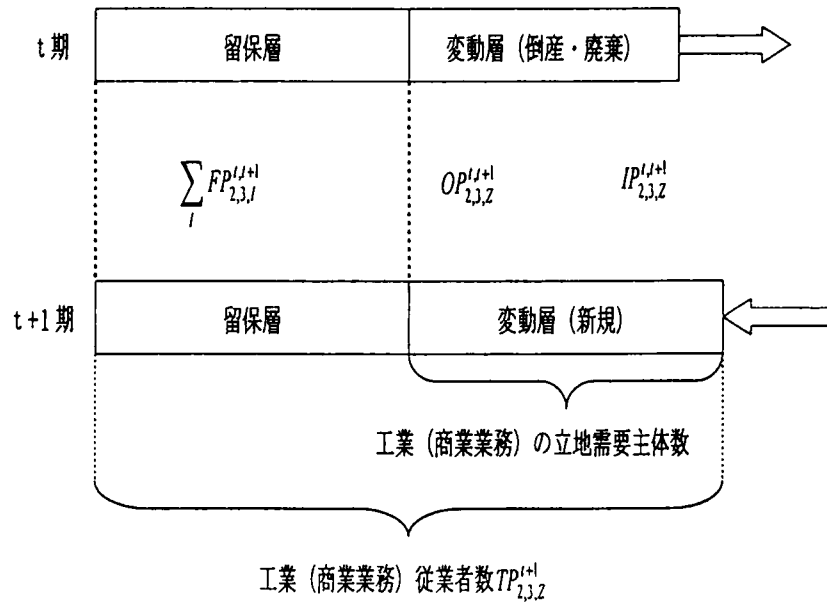


図 5.2.2 工業および商業業務の立地需要主体数

5.2.2 立地配分モデル

(1) 住宅立地主体

立地主体 M の個々の立地者 m が、ある個々の土地区画 i に立地することにより得る効用を U_{mi} として、式(5.10)の効用関数を仮定する。そして、一般財の価格を 1 とし、所得制約 y_m のもとに効用最大化を図り、定数項を省略すると式(5.12)の間接効用関数 V_{mi} が導かれる。

$$U_{mi} = \sum_k \alpha_{mk} \ln x_{mik} + \sum_k \beta_{mk} \ln g_{mik} + \gamma_m \ln q_{mi} + \delta_m \ln z + \varepsilon_{mi} \longrightarrow \text{MAX} \quad (5.10)$$

$$s. t. \quad y_m = r_{mi} \cdot q_{mi} + z \quad (5.11)$$

$$V_{mi} = \sum_k \hat{\alpha}_{mk} X_{mik} + \sum_k \hat{\beta}_{mk} G_{mik} - \gamma_m R_{mi} + (\gamma_m + \delta_m) Y_m + \varepsilon_{mi} \quad (5.12)$$

ただし、

q_{mi} : 一人当りの土地占有面積

z : 一般財

$X_{mik} = \ln x_{mik}$: 立地条件

$G_{mik} = \ln g_{mik}$: 交通条件

$Y_m = \ln y_m$: 所得

$R_{mi} = \ln r_{mi}$: 地代

$\hat{\alpha}_{mk}, \hat{\beta}_{mk}, \gamma_m, \delta_m$: パラメータ

立地者 m と土地区画 i をそれぞれ集計し、住宅立地主体 M が選択する土地区画を、ゾーン I ごとにグルーピングして一つの土地区画と考えると、ゾーン内の平均効用 V_{MI} を $\frac{1}{\mu_1} \ln N_{MI}$ で修正する式(5.13)が得られる (Ang & Tang, 1988²⁾; Ben-Akiva & Lerman, 1985³⁾)。

$$U_{MI} = V_{MI} + \frac{1}{\mu_1} \ln N_{MI} + \varepsilon_{MI} \quad (5.13)$$

ただし、

$$V_{MI} = \sum_k \hat{\alpha}_{Mk} X_{MIk} + \sum_k \hat{\beta}_{Mk} G_{MIk} - \gamma_M R_{MI} + (\gamma_M + \delta_M) Y_M$$

$$N_{MI} = \frac{L_{I,I+1}}{q_{MI}}$$

$L_{I,I+1}$: ゾーン I の土地利用可能面積

q_{MI} : 土地占有単位面積

式(5.13)の確率項 ε_{MI} に IIGD (Independently and Identically Gumbel Distribution) を仮定するとロジットモデルとなり、立地主体 M がゾーン I を選択する確率 $\tilde{\Theta}_{MI}$ は次式のよ

うに表せる。

$$\tilde{\Theta}_{MI} = \frac{N_{MI}^{\mu_1} \exp(\mu_2 V_{MI})}{\sum_{l \in Z} N_{MI}^{\mu_1} \exp(\mu_2 V_{MI})} \quad (5.14)$$

ただし、 μ_1, μ_2 : ばらつきの大きさを表すパラメータ

(2) 工業および商業業務立地主体

工業および商業業務立地者の利潤 π_{mi} と生産関数 \tilde{Q}_{mi} を式(5.15)、(5.16)のように仮定する。そして、生産関数 \tilde{Q}_{mi} のもとに利潤最大化を図り、定数項を省略すると式(5.17)の利潤関数 Π_{mi} が導かれる。

$$\pi_{mi} = \tilde{Q}_{mi} - r_{mi} \ell_{mi} - w_{mi} \kappa_{mi} \longrightarrow \text{MAX} \quad (5.15)$$

$$s. t. \quad \tilde{Q}_{mi} = a_{m0} (\ell_{mi})^{a_{m1}} (\kappa_{mi})^{a_{m2}} (PACS_{mi})^{a_{m3}} \quad (5.16)$$

$$\Pi_{mi} = \ln \pi_{mi} = \zeta_{m1} \ln r_{mi} + \zeta_{m2} \ln w_{mi} + \zeta_{m3} \ln PACS_{mi} \quad (5.17)$$

ただし、

π_{mi} : 立地者 m の利潤

\tilde{Q}_{mi} : 立地者 m の生産量

ℓ_{mi} : 土地投入量

κ_{mi} : 労働投入量

r_{mi} : 地代

w_{mi} : 賃金

$PACS_{mi}$: 市場規模と交通条件を表す指標

$a_{m0}, a_{m1}, a_{m2}, a_{m3}, \zeta_{m1}, \zeta_{m2}, \zeta_{m3}$: パラメータ

ここで、住宅立地者と同じように、立地者 m と土地区画 i をそれぞれ集計し、立地主体 M とゾーン I として考え、確率項 ε_{MI} に IIDG を仮定すると次式が得られる。

$$\tilde{\Theta}_{MI} = \frac{N_{MI}^{\mu_{M1}} \exp(\mu_{M2} \Pi_{MI})}{\sum_{I \in Z} N_{MI}^{\mu_{M1}} \exp(\mu_{M2} \Pi_{MI})} \quad (5.18)$$

ただし、

$$PACS_{M=2,I} = \sum_J \frac{TP_{M=2,J} + TP_{M=3,J}}{C_{IJ}^{\sigma_3}} \quad (\text{工業}) \quad (5.19)$$

$$PACS_{M=3,I} = TP_{M=1,I}^{a_4} \cdot TP_{M=3,I}^{a_5} \cdot C_{IJ}^{a_6} \quad (\text{商業業務}) \quad (5.20)$$

$TP_{M=1}$: 夜間人口

$TP_{M=2}$: 工業従業者数

$TP_{M=3}$: 商業業務従業者数

I, J : ゾーン

a_4, a_5, a_6 : パラメータ

ここで、 σ_3 は後述する交通モデルにおける重力モデルのパラメータを用いることとする。

(3) 土地占有単位面積

住宅、商業業務、工業立地者一人当たりの土地占有単位面積 q_{MI} を式(5.21)のように示すことによって、高地価地域における高層利用などを内生化する。そして、土地占有単位面積 q_{MI} によって、ゾーン I における土地需要面積は式(5.22)のように表現できる。

$$q_{MI,I} = \partial_{M1} \cdot r_{MI} + \partial_{M2} \cdot q_{MI,I-1} + \partial_{M3} \quad (5.21)$$

$$D_I = \sum_M A_{MI} \cdot q_{MI} \quad (5.22)$$

ただし、

D_I : ゾーン I における土地需要面積

A_{MI} : ゾーン I における立地主体 M の立地需要主体数

r_{MI} : ゾーン I における立地主体 M の地代

$\partial_{M1}, \partial_{M2}, \partial_{M3}$: パラメータ

5.2.3 土地供給モデル

土地供給者は、図 5.2.3 に示すように、 t 期の地代 r_t が、 $t+1$ 期 r_{t+1} に増加すると、自分の

土地利用面積を L_t から L_{t+1} まで減らし、地代収入、すなわち、一般財を z_t から z_{t+1} まで増やすことにより、土地と一般財から得られる自らの効用水準 $U_{S,t+1}$ を最大にするように土地を供給すると仮定する。

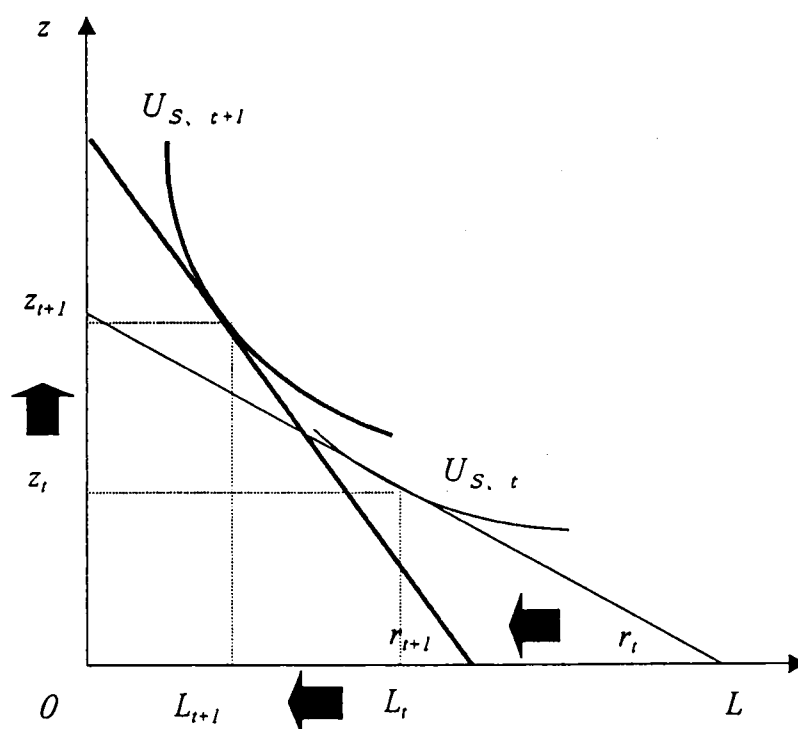


図 5.2.3 土地供給者の行動

土地供給者は、式(5.24)に示すように、土地を供給せず土地供給者自身が使用する时候、地代（帰属地代）を支払うこととする。ただし、一般財の価格は1とする。また、式(5.25)のように、 $t+1$ 期の土地供給者の収入は土地供給者自身の土地利用による収益、地代収入、税金、 t 期からの一般財からなるとすると、式(5.24)、(5.25)によって式(5.26)の予算制約式が得られる。

$$U_{S,t+1} = \tilde{a} \ln(L_{t,t+1}) + \tilde{b} \ln(z_{t,t+1}) \longrightarrow \text{MAX} \quad (5.23)$$

ただし、 $\tilde{a} + \tilde{b} = 1$

s. t.

<支出>

$$y = L_{t,t+1} \cdot r_{t,t+1} + z_{t,t+1} \quad (5.24)$$

<収入>

$$y = L_{I,t+1} \cdot r_{I,t+1} \cdot \omega_1 + (L_{I,t} - L_{I,t+1}) \cdot r_{I,t+1} + L_{I,t+1}^{FIX} \cdot r_{I,t+1} \\ - (L_{I,t} + L_{I,t+1}^{FIX}) \cdot P_{I,t+1} \cdot \tau_p - (L_{I,t} - L_{I,t+1} + L_{I,t+1}^{FIX}) \cdot r_{I,t+1} \cdot \tau_Y + z_{I,t} \cdot \omega_2 \quad (5.25)$$

<予算制約式>

$$z_{I,t+1} = (L_{I,t} - 2L_{I,t+1} + L_{I,t+1} \cdot \omega_1) \cdot r_{I,t+1} + L_{I,t+1}^{FIX} \cdot r_{I,t+1} \\ - (L_{I,t} + L_{I,t+1}^{FIX}) \cdot P_{I,t+1} \cdot \tau_p - (L_{I,t} - L_{I,t+1} + L_{I,t+1}^{FIX}) \cdot r_{I,t+1} \cdot \tau_Y + z_{I,t} \cdot \omega_2 \quad (5.26)$$

ただし、

$L_{I,t}$: t 期における供給可能面積 (t 期における土地供給者自身の土地利用面積)

$L_{I,t+1}^{FIX}$: $t+1$ 期における留保層に対する供給面積

$r_{I,t}$: t 期におけるゾーンIの地代

$r_{I,t+1}$: $t+1$ 期におけるゾーンIの地代

$P_{I,t+1}$: $t+1$ 期におけるゾーンIの地価

$z_{I,t+1}$: $t+1$ 期におけるゾーンIの一般財

y : 所得

τ_p : 固定資産税率

τ_Y : 所得税率

\tilde{a}, \tilde{b} : パラメータ

ω_1, ω_2 : 地代収入以外の収益を表す係数

そして、 $L_{I,t+1}$ 、 $z_{I,t+1}$ をコントロールして、効用 $U_{S,t+1}$ を最大化すると、式(5.27)の土地供給量 S_I が得られる。このモデルを用いることによって、地代の上昇が土地供給量を増加させ、下落が土地供給量を減少させる土地供給者の土地供給行動を捉えることができる。なお、式(5.27)の土地供給モデルを図 5.2.4 に示す。

$$S_I = L_{I,t} \left\{ 1 - \lambda_1 \frac{r_{I,t}}{r_{I,t+1}} \right\} \quad (5.27)$$

ただし、 λ_1 : パラメータ

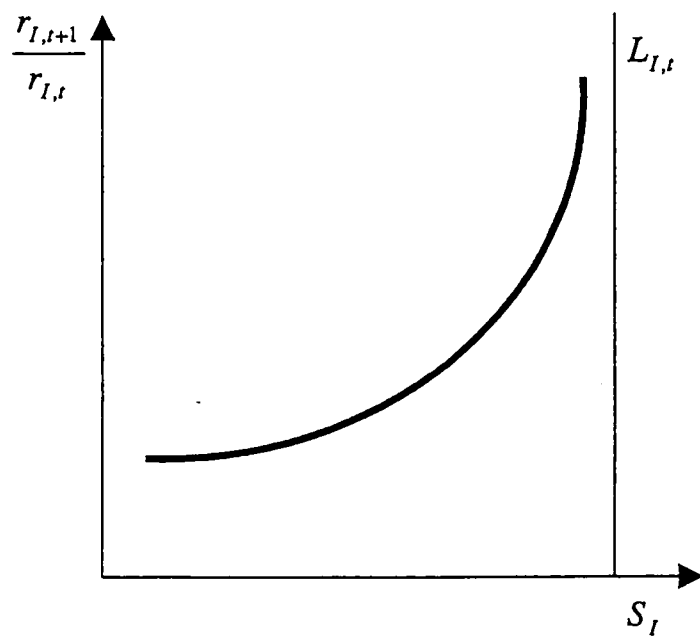


図 5.2.4 土地供給モデル

5.2.4 競合モデル

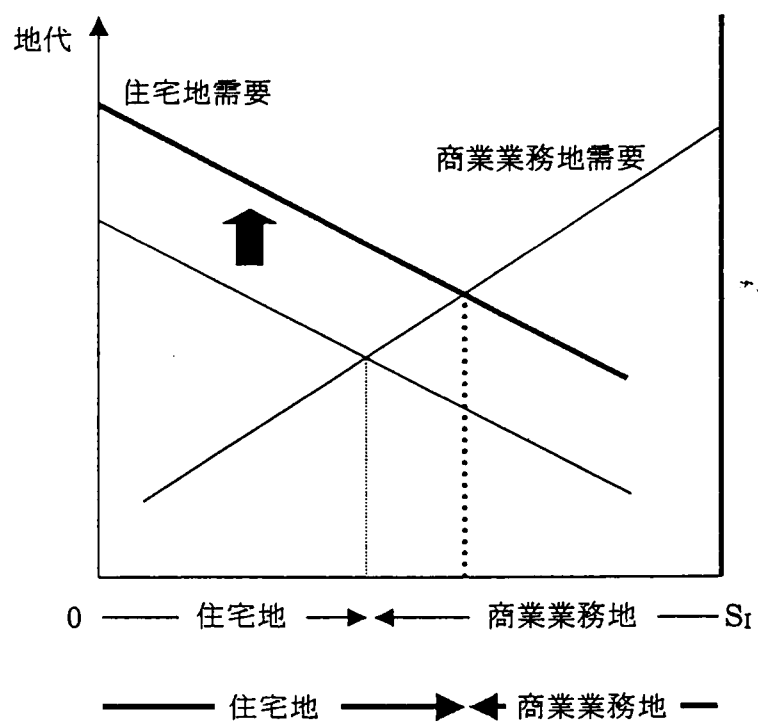


図 5.2.5 地代と用途別土地占有面積との関係

異なる主体間の土地をめぐる競争は付け値概念を用いて表現する。立地主体は、図 5.2.5 に示すように、立地配分モデルでゾーンを選択した後、土地供給モデルからの土地供給面積に対して付け値競争を行う。そして、土地供給者は式(5.29)で示すように、最大付け値をつける確率によって土地を供給する。また、付け値地代は 5.2.5 での立地均衡によって市場地代に顕在化され（柏谷・小倉, 1986）⁴⁾、次の期の立地配分モデルでの情報として用いられる。

各立地者の地代を、それぞれ所得 y_m と効用水準 U_{mi} 、利潤 π_{mi} と生産関数 \tilde{Q}_{mi} のもとで最大化し、立地配分モデルと同じように展開するとゾーン I において立地主体 M が最大付け値をつける確率 Θ_{IM} を求めることができる（宮本, 1989⁵⁾；Lerman & Kern, 1983⁶⁾）。

$$\Theta_{IM} = \frac{\exp\left(\omega_2 \ln B_{MI} + \frac{\omega_2}{\omega_1} \ln A_{MI}\right)}{\sum_M \exp\left(\omega_2 \ln B_{MI} + \frac{\omega_2}{\omega_1} \ln A_{MI}\right)} \quad (5.28)$$

$$F_{MI} = S_I \cdot \Theta_{IM} \quad (5.29)$$

ただし、

B_{MI} : 立地主体 M の付け値地代

F_{MI} : ゾーン I での立地主体 M への供給面積

また、そのときの満足度関数 $\Lambda(W_{MI})$ は、以下のログサム関数として表現できる（宮城・小川, 1985）⁷⁾。

$$\Lambda(W_{MI}) = \frac{1}{\omega_2} \ln \sum_M \exp \omega_2 \left(\ln B_{MI} + \frac{1}{\omega_1} \ln A_{MI} \right) \quad (5.30)$$

$$\text{ただし、 } W_{MI} = \ln B_{MI} + \frac{1}{\omega_1} \ln A_{MI} \quad (5.31)$$

そして、満足度関数 $\Lambda(W_{MI})$ は共役性理論から式(5.32)のように表記でき、式(5.28)～(5.32)より式(5.33)を得ることができる（宮城・小川, 1985）⁷⁾。

$$\Lambda(W_{MI}) = \sum_M W_{MI} \Theta_{IM} - \frac{1}{\omega_2} \sum_M \Theta_{IM} \ln \Theta_{IM} \quad (5.32)$$

$$\ln B_{MI} = \sum_M \Theta_{IM} \ln B_{MI} + \chi_{M1} \ln \left(\frac{F_{MI}}{S_I} \right) + \chi_{M2} \quad (5.33)$$

ただし、 χ_{M1}, χ_{M2} : パラメータ

ここで、 $\sum_M \Theta_{IM} \ln B_{MI}$ は経済学的意味がないため、平均付け値地代 \bar{B}_I との間に式(5.34)に示すような関係を仮定した。この関係について、地代では実証するためのデータが十分ではないが、地価を用いた場合、表 5.2.1 に示すような結果を得ることができる。

$$\sum_M \Theta_{IM} \ln B_{MI} = \eta_1 \ln \bar{B}_I + \eta_2 \quad (5.34)$$

ただし、 η_1, η_2 : パラメータ

表 5.2.1 [式(5.34)]

説明変数	係数	t 値
平均地価 (円/m ²)	1.1418	20.756
定数項	-2.1823	-3.368
決定係数 (補正 R ²)	0.828	

そこで、式(5.33)、式(5.34)から平均付け値地代 \bar{B}_I と立地主体 M の付け値地代 B_{MI} の関係を表す式(5.35)を得ることができる。

$$B_{MI} = \psi_{M1} (\bar{B}_I)^{\psi_{M2}} \left(\frac{F_{MI}}{S_I} \right)^{\psi_{M3}} \quad (5.35)$$

ただし、

\bar{B}_I : 平均付け値地代

$\psi_{M1}, \psi_{M2}, \psi_{M3}$: パラメータ

5.2.5 均衡条件

本モデルでは、既存の研究と同様に（小池ら, 1997）⁸⁾、ゾーン毎にそれぞれ独立した市場があると想定する。

土地市場均衡条件は以下のようになる。

$$D_I - S_I = 0 \quad (\text{for all } I) \quad (5.36)$$

そして、均衡解の算出方法は図 5.2.6 に示すように、式(5.35)、式(5.36)から得られる解を用いて、式(5.21)から得られる土地占有単位面積が収束するまで繰り返し計算する。

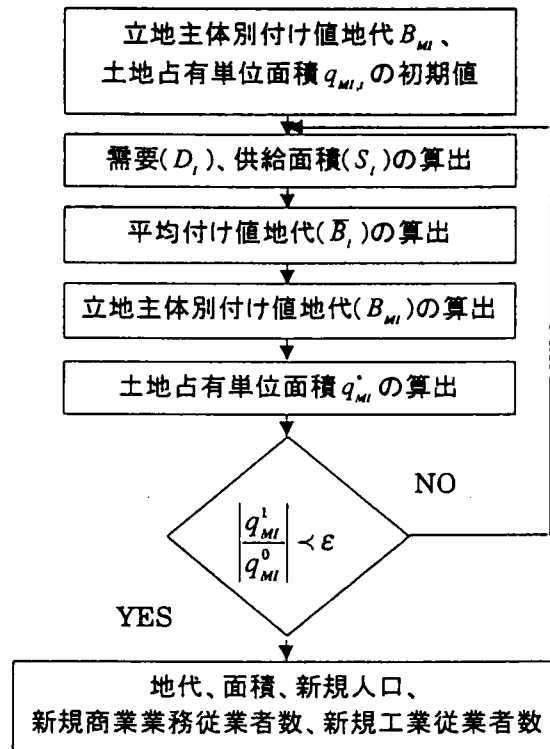


図 5.2.6 均衡解の算出方法

5. 3 交通モデル

第2章で述べたように、中長期的には、道路整備に伴う交通条件（アクセシビリティ）の変化に基づいて、社会経済活動の立地が変更され、新たな交通、すなわち、誘発交通が発生する。ところが、既存の交通モデルはこのような土地利用の変化からの誘発交通を無視しているため、便益評価には歪みが生じる可能性がある。

そして、Mogridge (1997)⁹⁾と Kitamura et al (1999)¹⁰⁾は、混雑している経路の道路混雑を緩和するために道路投資をしたことが、自動車交通と公共交通（例えば鉄道）の相互作用により、逆にその経路の混雑が悪化する可能性を指摘しているが、このような可能性は、土地利用と交通との相互作用によっても生じる。

そこで、本研究では、上で述べた土地利用の変化からの誘発交通のインパクトを明確化

し、交通計画において土地利用と交通との相互作用が考慮されなければならないことを実証的に示す。そのため、交通モデルの構築の際には、交通機関分担率を固定し、土地利用変化のみによる誘発交通が分析できるようにする。

自動車発生集中交通量は式(5.37)に示すように、土地利用モデルから算出される人口指標（夜間人口、工業従業者数、商業業務従業者数）を説明変数として原単位法によって求める。分布交通量については式(5.38)に示す通りである。また、配分交通量は、分割配分法を用いた最短経路探索を行うことにより求める。

$$\begin{aligned}\tilde{O}_I &= \sum_k \sum_M v_{Mk} TP_{MI} \\ \tilde{D}_I &= \sum_k \sum_M \vartheta_{Mk} TP_{MI}\end{aligned}\tag{5.37}$$

ただし、

\tilde{O}_I, \tilde{D}_I : ゾーン I における自動車発生, 集中交通量

TP_{MI} : ゾーン I における立地主体 M の人口指標

v_{Mk}, ϑ_{Mk} : 立地主体 M における目的 k の原単位

$$\tilde{V}_{IJ} = \sigma_1 (\tilde{O}_I \tilde{D}_J)^{\sigma_2} C_{IJ}^{\sigma_3}\tag{5.38}$$

ただし、

\tilde{O}_I, \tilde{D}_J : ゾーン I, J における自動車発生、集中交通量

\tilde{V}_{IJ} : ゾーン I, J 間における全自動車交通量

C_{IJ} : ゾーン I, J 間における一般化費用

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: パラメータ

5. 4 環境モデル

環境モデルは、土地利用モデルと交通モデルからのアウトプットを環境指標に変換するモデルであり、アウトプットはエネルギー使用量、CO₂排出量、NO_x排出量である。

まず、土地利用モデルからの各環境指標は産業連関表を用いて求められており、そのため産業連関表の各部門は土地利用モデルの立地主体と関連して大きく商業業務グループ、

工業グループ、民生グループの、三つのグループとして分類される。ところが、環境指標の値の中で大きな比重を占めているが、土地利用の変化とは関連が少ない電力・ガス・熱供給部門は、各ゾーンにおける土地利用の変化と関連する環境指標の値の変化のみを分析するため、除くこととする。

以上のことから、商業業務および工業部門の環境指標の算出式を式(5.39)に、土地利用モデルの住宅立地者と関連性を持つ民生部門の環境指標の算出式を式(5.42)に示す。なお、式(5.41)は式(5.15)、式(5.16)から得られる。

$$CO2_{MI} = e_M \cdot \tilde{Q}_{MI}$$

$$ENERGY_{MI} = e_M \cdot \tilde{Q}_{MI} \quad (5.39)$$

$$e_M = \frac{\sum_m e_m \cdot \tilde{Q}_m}{\sum_m \tilde{Q}_m}, \quad m \in M \quad (5.40)$$

$$\tilde{Q}_{MI} = \lambda_M \cdot \kappa_{MI} \quad (5.41)$$

ただし、

$CO2_{MI}$: ゾーン I における立地主体 M の CO_2 排出量

$ENERGY_{MI}$: ゾーン I における立地主体 M のエネルギー使用量

e_M : 立地主体 M の CO_2 排出 (エネルギー使用) 原単位

e_m : 立地主体 M に属する各部門 m の CO_2 排出 (エネルギー使用) 原単位

\tilde{Q}_m : 立地主体 M に属する各部門 m の生産額

\tilde{Q}_{MI} : ゾーン I における立地主体 M の生産額

κ_{MI} : 労働投入量

λ_M : パラメータ

$$CO2_{MI} = e_M \cdot TP_{MI}$$

$$ENERGY_{MI} = e_M \cdot TP_{MI} \quad (5.42)$$

ただし、

$$e_M = \frac{e_m \cdot F_m}{TP_{ALL}}$$

e_M : 立地主体 M の CO_2 排出 (エネルギー使用) 原単位

F_m : 民生グループの消費支出

TP_{MI} : ゾーン I における人口

TP_{ALL} : 日本の人口

そして、交通モデルと関連して、道路走行状態に伴う CO_2 排出量とエネルギー消費量 Y は建設省道路局・三菱総合研究所 (1992) ¹¹⁾ の推計式を、 NO_x 排出量は大阪府企業局 (1985) ¹²⁾ の推計式を用いる。以下にその環境指標の算出式を式(5.43)および式(5.44)に示す。

$$CO2_{MZ} = e_M \cdot Y \quad (5.43)$$

ただし、

$$Y = \frac{356.9}{V} - 1.706V + 0.0128V^2 + 105.2 \quad (\text{自動車})$$

$$Y = \frac{716.4}{V} - 13.00V + 0.1008V^2 + 611.7 \quad (\text{バス})$$

$CO2_{MZ}$: 対象地域 Z における交通部門からの CO_2 排出量

e_M : 交通部門の CO_2 排出源単位

Y : 燃料消費量 (cc/Km)

V : 平均速度 (Km/h)

$$NOX_{MZ} = -0.0119V + 0.1847\sqrt{V} + 0.0306 \quad (\text{自動車})$$

$$NOX_{MZ} = -0.0772V + \frac{34.5025}{V} + 1.1800\sqrt{V} + 0.2507 \quad (\text{バス}) \quad (5.44)$$

ただし、 NOX_{MZ} : 対象地域 Z における交通部門からの NO_x 排出量

5. 5 まとめ

本章では、既存の研究の問題点および土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向を踏まえて、理論的完結性を満足させながらも実用性を兼備するように環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの構築を行った。

土地利用モデルの構築の際、主体として住宅立地者、工業立地者、商業業務立地者、土地供給者の4つを考え、各主体の行動をすべて最適化行動として捉えた。住宅立地者の行動は効用最大化、工業と商業業務立地者の行動は利潤最大化として、モデル化を行った。特に、既存研究の問題点を改善させ、土地供給者の行動を資産選択による期待効用最大化と捉え、土地供給者の土地供給行動を明確化した。そして、土地市場は土地に対する用途規制を考慮し、住宅地・商業業務地と工業地の二つに分類されていると仮定した。

さらに、既存の大部分の研究が移転費用を無視しながらも、対象地域のすべての主体を立地配分する問題に対して、立地を変更する立地需要主体数のみを立地配分させるよう、主体を立地動態別に留保層と変動層に分類し、変動層をさらに新規層と移動層に分類し、変動層だけを立地配分対象とする立地需要主体数算定モデルを構築した。

そして、異なる立地主体間の土地をめぐる価格競争による立地競争を、付け根概念を用いて明確化した。

交通モデルは、実用性の観点から基本的には4段階推定法として定式化した。本研究の目的である土地利用変化のみによる誘発交通のインパクトを分析するため、交通機関分担率は固定した。

環境モデルの構築においては、産業連関表を利用し、交通部門だけではなく土地利用の変化から生じる環境へのインパクトも分析できるようにモデルの構築を行った。

[第5章参考文献]

- 1)Foot D., 青山吉隆・戸田常一・阿部宏史・近藤光男訳：都市モデルー手法と応用，丸善株式会社，1984.
- 2)Ang A.H-S. & Tang W.H., 伊藤 學・亀田弘行・黒田勝彦・藤野陽三訳：土木・建築のための確率・統計の応用，丸善株式会社，1988.
- 3)Ben-Akiva M. & Lerman S.R. (1985) Discrete Choice Analysis, MIT Press.
- 4)柏谷増男・小倉幹弘：住宅立地つけ値関数の推定，土木計画学研究・論文集，No.4, pp.117-124, 1986.
- 5)宮本和明：ランダム効用および付け値分析に基づく土地利用モデルの札幌都市圏における適用，土木計画学研究・講演集，No.12, pp.675-680, 1989.
- 6)Lerman S.R. & Kern C.R. (1983) Hedonic Theory, Bid Rents, and Willingness-to-Pay: Some Extensions of Ellickson's Results, Journal of Urban Economics 13, pp.358-363.
- 7)宮城俊彦・小川俊幸：共役性理論を基礎とした交通配分モデルについて，土木計画学研究・講演集，No.7, pp.301-308, 1985.
- 8)小池淳司・上田孝行・小森俊文：ミクロ行動理論に基づく交通一立地モデルの開発，土木

計画学研究・論文集, No.14, pp.259-267, 1997.

- 9)Mogridge M.J.H (1997) The self-defeating nature of urban road capacity policy: A review of theories, disputes and available evidence. Transport Policy, Vol. 4, No.1, pp.5-23.
- 10)Kitamura R., Nakayama S. & Yamamoto T. (1999) Self-reinforcing motorization: can travel demand management take us out of the social trap? Transport Policy, Vol. 6, pp.135-145.
- 11)建設省道路局・三菱総合研究所：道路整備による効果の推計に関する調査報告書, 1992.
- 12)大阪府企業局：大阪府における汚染・汚濁物質の将来排出量算定基礎調査報告書, 1985.

第6章 モデルの京都市・滋賀県への適用

本章では、第5章で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを京都市・滋賀県地域に適用し、各サブモデルのパラメータの推定を行うとともに、各サブモデルの組み合わせ、すなわち構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの現況再現性を検証する。さらに、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いて、現況のCO₂排出量およびエネルギー使用量を計測する。

6.1 対象地域とゾーン区分およびデータの整備

既存の多くの研究は大都市圏を対象としてケーススタディを行っている。しかし、本研究では大都市圏に限らない各種都市活動の立地メカニズムを分析するため、京都市・滋賀県を対象地域として、モデルの各種パラメータ推定と現況再現性の検証を行うこととする。

本研究において京都市・滋賀県を対象地域として選定した主要な理由について以下に述べる。

対象地域は、名神高速道路と東海道新幹線の二つの高速交通網によって、大阪・神戸・名古屋といった大都市と連携している国土幹線軸上の地域であり、その中においても京都市・大津市・草津市は近畿圏の一つの核として位置付けられる（国土庁大都市圏整備局、1996）¹⁾。また、対象地域は図 6.1.1 および図 6.1.2 に見られるように、他地域からの転入が転出より多く、工業よりは商業業務の比重が高い。

そして、近年、対象地域における中心都市である京都市では人口、工場、大学などの周辺地域への流出が見られるなど、その求心力が相対的に低下している。その一方で、これまで都市機能の集積が進んでこなかった大津市では、徐々に都市機能の集積が進み、対象地域における中心性を高めつつある。また、滋賀県の経済の中心地域である大津湖南地域（大津市・草津市・守山市・栗東町・中主町・野洲町・志賀町）は、図 6.1.3 に示すように、関西圏の中でも最も急速な成長を続けているなど、対象地域の構造に大きな変化が現れてきている。

以上のような対象地域の状況は、第7章で行う道路整備による土地利用変化やスプロール、誘発交通などの検証および既存の交通モデルと環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの比較を明確にすると考えられる。

対象地域である京都市・滋賀県のゾーン区分は図 6.1.4 に示すように、市区町村を基本とするが、大津市の場合には表 6.1.1 に示すように学区を基に、さらに六つのゾーンに分けて分析する。

また、本研究でモデルのパラメータ推計および対象地域への適用の際に用いた道路ネットワークおよびデータは、図 6.1.5 と表 6.1.2 に示す通りであり、パラメータ推定は198

5年～1996年のデータを使用して行った。なお、本研究では各種統計データの整備が5年ごとに行われていることを考慮し、1期を5年として扱っている。

図 6.1.1 対象地域における転出率と転入率の推移

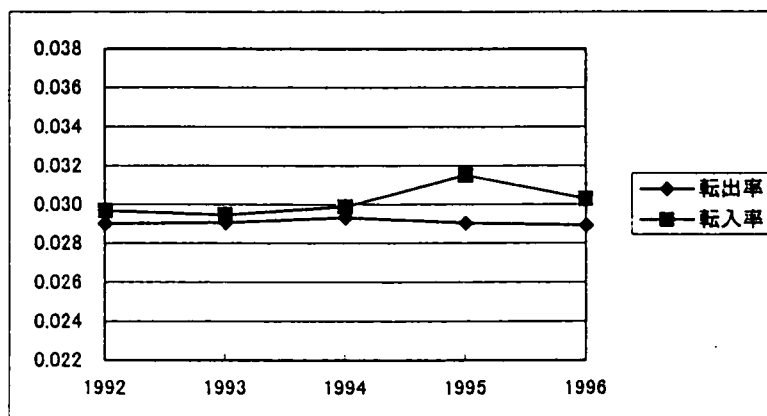


図 6.1.2 対象地域における人口—従業者比率の推移

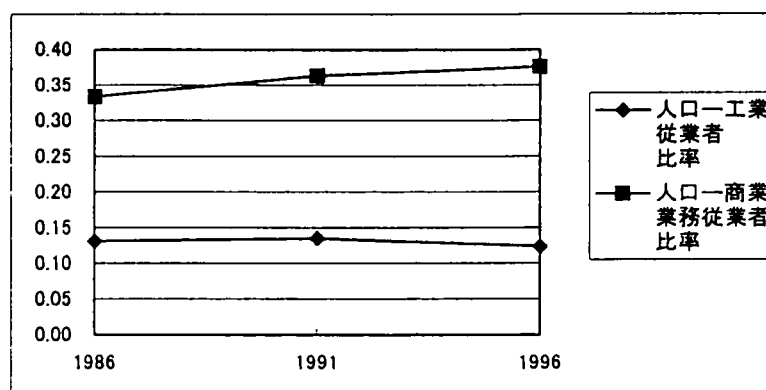
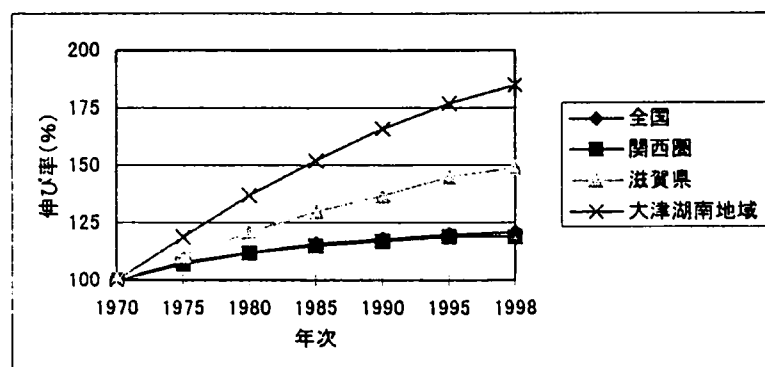


図 6.1.3 大津湖南地域の人口の伸び率



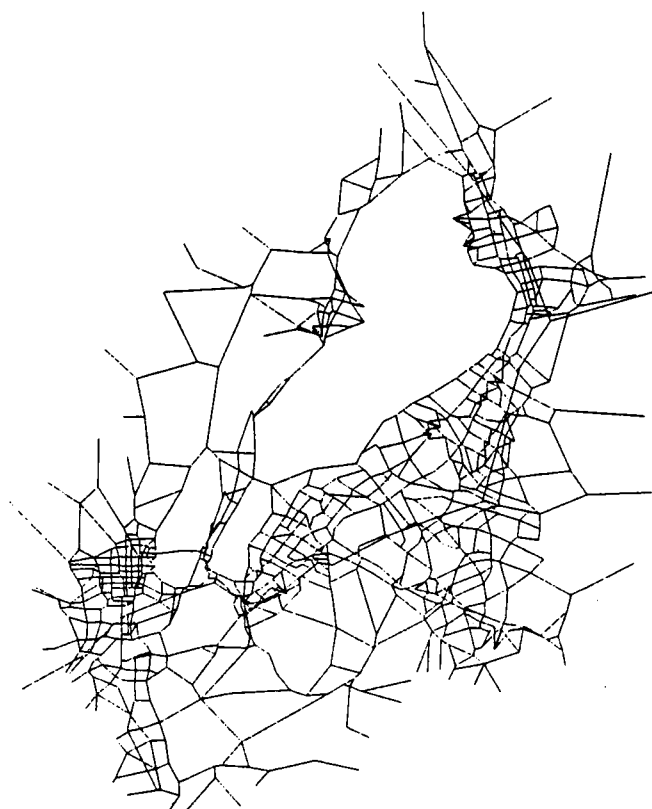


図 6.1.5 対象地域における道路ネットワーク

表 6.1.2 本モデルのパラメータ推定に用いた統計資料一覧

指標名		調査年度
人口指標	夜間人口	1985年～1996年までの各年
	出生、死亡人口（自然増減率）	1985年～1996年までの各年
	転出、転入人口	1985年～1996年までの各年
	従業者数	1986年、1991年、1996年
	存続従業者数（存続率）	1991年、1994年
面積指標	地目別面積	1985年、1990年、1995年
	可住地面積	1985年、1990年、1995年
	住宅地面積（非住宅地面積）	1985年、1990年、1995年
	商業業務地面積	1985年、1990年、1995年
	工業地面積	1985年、1990年、1995年
交通指標	京阪神パーソントリップ	1991年
	道路ネットワークデータ	1994年
その他	公示地価	1986年、1991年、1996年
	賃金率	1986年、1991年、1996年

6. 2 パラメータ推定結果

6.2.1 土地利用モデルのパラメータ推定結果

本研究で構築した土地利用モデルのパラメータ推定結果を表 6.2.1～6.2.9 および図 6.2.1～6.2.2 に示す。

ただし、式(5.4)については、地域特性を考慮して、京都市、大津湖南地域、その他の滋賀県地域に分類して推定した。そして、式(5.8)のゾーン I における立地主体 M の存続率 $\phi_{M=2,3,I}$ は、事業所統計調査—平成 6 年事業所名簿整備調査報告から得られるデータから 5 年単位に換算して求めた。また、立地配分モデルで主要な変数として作用しているアクセシビリティは式(6.1)のように表され、このときの交通抵抗関数は式(5.38)の重力モデルの関数を用いた。

$$ACS(TP_{MJ}) = \sum_J TP_{MJ} \cdot C_{IJ}^{-\sigma_3} \quad (6.1)$$

ただし、 TP_{MJ} : ゾーン J における立地主体 M の人口指標

$C_{IJ}^{-\sigma_3}$: 交通抵抗関数

σ_3 : パラメータ

なお、パラメータ推定の際に、地代の代わりに地価を用いた場合、実際の地価には将来に対する予測や投機的な要因などが含まれているため、バイアスが生じる可能性がある。しかし、地代データの使用では、地価データに比べてサンプル数が少なく、信頼性が欠けているため、地代の代理変数として地価を用いることとした。

一方、パラメータ推定結果は表 6.2.1～6.2.9 から見るようにいずれのサブモデルも概ね良好な結果が得られており、特に表 6.2.1 および図 6.2.1～6.2.2 に示す自然増減率のパラメータ推定結果は、近年社会的な問題となっている少子化の進行をそのまま反映している。

表 6.2.1 自然増減率 [式(5.3)]

説明要因	京都市		滋賀県	
	パラメータ	t 値	パラメータ	t 値
b_1	-0.001170	-8.117	-0.001431	-12.460
b_0	0.004339	16.575	0.007222	34.617
決定係数(補正 R^2)	0.855		0.933	

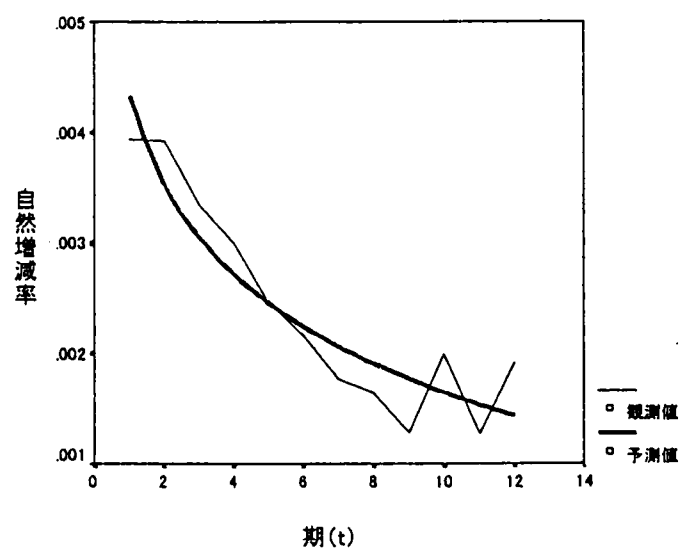


図 6.2.1 京都市の自然増減率の推定

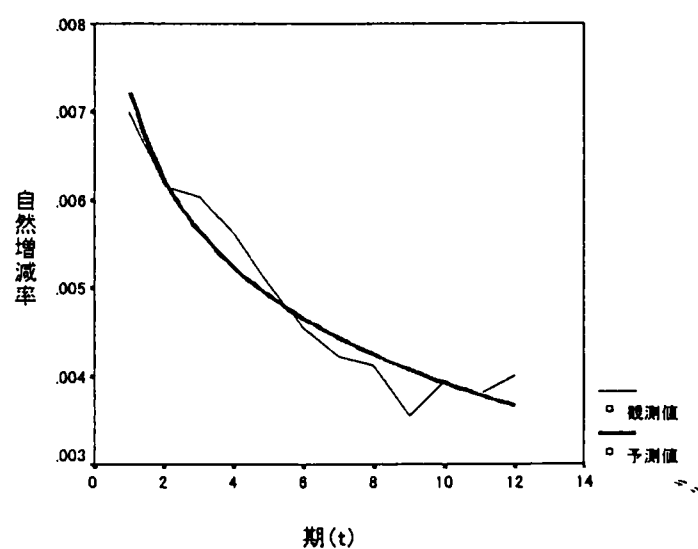


図 6.2.2 滋賀県の自然増減率の推定

表 6.2.2 転出入口 [式(5.4)]

説明要因	京都市		大津湖南地域		その他の滋賀県地域	
	パラメータ	t 値	パラメータ	t 値	パラメータ	t 値
夜間人口	0.0863	29.870	0.0263	2.356	0.0045	0.693
平均地価(円/m ²)	0.0002	0.148	0.0028	1.035	0.0002	0.164
従業者数(人)	0.0023	0.010	0.0415	1.535	0.0920	8.074
決定係数(補正 R ²)	0.8636		0.8580		0.9208	

表 6.2.3 各ゾーンにおける存続率 [式(5.8)]

ゾーン	商業業務従業者	工業立地者	ゾーン	商業業務従業者	工業立地者
大津市 1 区	0.826	0.756	愛知川町	0.895	0.874
大津市 2 区	0.826	0.840	豊郷町	0.751	0.669
大津市 3 区	0.826	0.840	甲良町	0.884	0.809
大津市 4 区	0.826	0.840	多賀町	0.687	0.770
大津市 5 区	0.826	0.840	山東町	0.834	0.843
大津市 6 区	0.826	0.840	伊吹町	0.960	0.896
彦根市	0.816	0.835	米原町	0.911	0.834
長浜市	0.777	0.815	近江町	0.755	0.804
近江八幡市	0.884	0.868	浅井町	0.749	0.801
八日市市	0.796	0.791	虎姫町	0.871	0.871
草津市	0.839	0.846	湖北町	0.617	0.735
守山市	0.905	0.879	びわ町	0.905	0.879
志賀町	0.674	0.764	高月町	0.885	0.869
栗東町	0.863	0.858	木之本町	0.769	0.811
中主町	0.846	0.849	余呉町	0.555	0.704
野洲町	0.860	0.729	西浅井町	0.799	0.826
石部町	0.902	0.878	マキノ町	0.864	0.859
甲西町	0.895	0.874	今津町	0.773	0.813
水口町	0.883	0.868	朽木村	0.819	0.683
土山町	0.846	0.849	安曇川町	0.853	0.853
甲賀町	0.635	0.744	高島町	0.806	0.829
甲南町	0.866	0.859	新旭町	0.897	0.855
信楽町	0.910	0.881	京都市北区	0.877	0.667
安土町	0.907	0.880	京都市上京区	0.685	0.664
蒲生町	0.949	0.901	京都市左京区	0.803	0.803
日野町	0.922	0.887	京都市中京区	0.725	0.725
竜王町	0.708	0.781	京都市東山区	0.799	0.669
永源寺町	0.797	0.825	京都市下京区	0.682	0.652
五個荘町	0.921	0.860	京都市南区	0.855	0.839
能登川町	0.722	0.787	京都市右京区	0.783	0.842
愛東町	0.675	0.764	京都市伏見区	0.840	0.824
湖東町	0.944	0.899	京都市山科区	0.790	0.827
秦荘町	0.820	0.837	京都市西京区	0.770	0.731

なお、第4章で述べた土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向から、サービスやレクリエーション機会などの生活機会への接近性を考慮するため採択した、表6.2.4の人口へのアクセシビリティ説明変数は有効な結果を得た。また、集積経済を考慮するために採択した、表6.2.5と表6.2.6の説明変数である各ゾーンにおける商業業務従業者数と製造業従業者数も有効な結果を示した。

ところが、式(5.27)の土地供給モデルにおいては、バブル経済の崩壊による地価の下落によって決定係数(補正 R^2)が低く、満足すべき結果が得られなかった。

表 6.2.4 立地配分モデル(住宅立地者)[式(5.14)]

説明要因	パラメータ	t 値
ln(立地可能区画の数)	0.1129	1.596
ln(住居地地価(円/m ²))	-0.0876	-0.761
ln(人口 ACS)	0.3089	1.847
ln(従業者数(人))	0.6441	3.735
決定係数(補正 R^2)	0.7690	

表 6.2.5 立地配分モデル(商業業務立地者)[式(5.18)]

説明要因	パラメータ	t 値
ln(立地可能区画の数)	-0.0106	-0.306
ln(商業業務地地価(円/m ²))	-0.0367	-0.544
ln(賃金(百万円/人))	-0.0667	-0.220
ln(人口 ACS)	0.0925	0.982
ln(商業業務従業者数(人))	0.9102	7.953
ln(商業業務存続率)	-0.6620	-1.521
決定係数(補正 R^2)	0.9042	

表 6.2.6 立地配分モデル(工業立地者)[式(5.18)]

説明要因	パラメータ	t 値
ln(立地可能区画の数)	-0.0907	-1.154
ln(工業地地価(円/m ²))	-0.0982	-0.612
ln(賃金(百万円/人))	-0.2046	-0.308
ln(工業・商業業務 ACS)	0.9935	6.224
ln(製造業従業者数(人))	0.8686	5.681
決定係数(補正 R^2)	0.6162	

表 6.2.7 土地占有単位面積 [式(5.21)]

説明要因	住宅地	商業業務地	工業地
地価 (円/m ²)	-5.8068 (-9.268)	-1.1988 (-14.767)	-15.5194 (-14.633)
t-1 期の 単位面積(m ²)	0.8426 (47.630)	0.8134 (65.818)	0.8232 (70.445)
切片	78.8140 (8.864)	18.5299 (14.439)	212.0150 (14.389)
決定係数(補正 R ²)	0.996	0.997	0.997

()内は t 値

表 6.2.8 土地供給モデル [式(5.27)]

説明要因	住宅地・商業業務地	工業地
パラメータ	0.844(20.536)	0.626(18.228)
決定係数(補正 R ²)	0.549	0.415

()内は t 値

表 6.2.9 競合モデル [式(5.35)]

説明要因	住宅地	商業業務地
平均地価(円/m ²)	0.9249 (20.780)	1.1952 (41.492)
面積に関する項	0.1430 (0.880)	0.0880 (2.529)
切片	0.9110 (1.749)	-1.2536 (-3.918)
決定係数(補正 R ²)	0.9186	0.9665

()内は t 値

6.2.2 交通モデルのパラメータ推定結果

式(5.37)の自動車発生・集中交通量は、1991年における京阪神都市圏の夜間人口、工業従業者数、商業業務従業者数と第3回京阪神都市圏パーソントリップ調査から、原単位を求めた。算出結果を表 6.2.10 に示す。

なお、式(5.38)で表す重力モデルのパラメータ推定結果を表 6.2.11 に示す。

表 6.2.10 発生・集中交通量の原単位 [式(5.37)]

	交通目的	対象人口	原単位 (全交通量)	原単位 (自動車分担率)
発生	通勤	夜間人口	0.3612	0.3257
	登校	夜間人口	0.2115	0.0238
	自由	夜間人口	0.5390	0.2216
	業務	工業、商業業務	0.6608	0.4995
	帰宅	工業、商業業務	2.0088	0.2354
集中	通勤	工業、商業業務	0.7323	0.3275
	登校	夜間人口	0.2107	0.0254
	自由	商業業務	1.4491	0.2225
	業務	商業業務	0.8654	0.5051
	帰宅	夜間人口	0.9927	0.2338

表 6.2.11 重力モデル [式(5.38)]

説明要因	パラメータ	t 値
σ_1	11.358	29.865
σ_2	0.242	16.225
σ_3	1.563	49.810
決定係数(補正 R^2)	0.613	

6.2.3 環境モデルのパラメータ推定結果

生産活動の相互依存関係を表現している産業連関表を用いることで、財・サービスの生産に伴って誘発されるエネルギーおよび CO_2 排出量を推計することができる。このような研究は数多く発表されているが（電力中央研究所, 1998）²⁾、その中で吉岡ら（1992）³⁾の研究は、既存の産業連関表に加えて、各主体（産業、家計など）がどれだけ燃料を消費し、大気汚染因子を発生させたかを示している。本研究では、各産業、また最終需要部門のエネルギー消費量と CO_2 排出量を示している吉岡ら（1992）³⁾の環境問題分析用の産業連関表を用いて環境指標の原単位を求めた。

なお、環境指標の原単位を求める際、工業および商業業務立地者の生産額に関する原単位の推定は、平成7年の京都府と滋賀県の産業連関表を用いて行った（京都府総務部統計課, 2000⁴⁾；滋賀県統計協会, 2000⁵⁾）。また、エネルギー使用量に関しては、40原燃料種目の物量単位が財によって異なることから、単位を Tcal に統一した。

算出結果を表 6.2.12 に示す。

表 6.2.12 環境指標の原単位 [式(5.39~42)]

主体	生産額 (億円/人)	エネルギー使用原単位	CO ₂ 排出原単位
住宅立地者	—	0.00096 (Tcal/人)	0.3811 (t/人)
商業業務立地者	0.088125	0.09972 (Tcal/億円)	29.2947 (t/億円)
工業立地者	0.218003	0.36745 (Tcal/億円)	124.1129 (t/億円)

交通部門の CO₂排出原単位は、環境庁国立環境研究所のデータを用いており（近藤美則・森口祐一，1997）⁶⁾、CO₂排出量の単位である kgC とは、炭素換算の質量であり、CO₂の質量として見るとその約 3.667 倍となる。交通部門の CO₂排出原単位を表 6.2.13 に示す。

表 6.2.13 交通部門の CO₂排出原単位 [式(5.43)]

	自動車	バス
CO ₂ 排出原単位 (kgC/l)	0.656	0.732

6. 3 モデルの現況再現性と CO₂排出量およびエネルギー使用量の計測

6. 2 で推定した個々のモデルについては、概ね良好な適合性を示していることが分かった。ここでは、個別に推定した各サブモデルを組み合わせ、全体的な環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの現況再現性を検証する。

現況再現性の検証は、1990年のデータをインプットとして、構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いて1995年の各ゾーンにおける地価、面積、人口、商業業務従業者数、工業従業者数を推計した。推計値と実際値を比較した結果を表 6.3.1 に示す。

なお、構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いて1995年における CO₂排出量およびエネルギー使用量を推計した。それを表 6.3.2 に示す。

表 6.3.1 モデルの現況再現結果

比較指標	相関係数
夜間人口	0.9881
商業業務従業者数	0.9987
工業従業者数	0.9932
平均地価	0.9493
宅地面積	0.9933
自動車発生・集中交通量	0.9803

表 6.3.2 モデルによる CO₂排出量およびエネルギー使用量の計測結果（1995年）

主体	CO ₂ 排出量（t）	CO ₂ 排出量の比率	エネルギー使用量（Tcal）	エネルギー使用量の比率
住宅立地者	1,052,917	0.06	2,649	0.04
商業業務立地者	3,708,192	0.20	16,082	0.23
工業立地者	11,608,949	0.64	44,627	0.64
交通部門	1,844,739	0.10	6,435	0.09

表 6.3.1 に示している現況再現の結果は、いずれの指標も相関係数は 0.9 以上であり、本研究で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルは非常に良好な再現性を示しているといえる。

そして、表 6.3.2 から分かるように、本研究で構築したモデルは交通部門からの環境指標だけではなく、土地利用からの環境指標も計測でき、またこれによって持続可能な発展の課題であった地域と地球の関係をわかりやすく表現することができる。

なお、表 6.3.1 と表 6.3.2 の指標から、本モデルは第 3 章で示した都市の持続可能性指標および持続可能な交通戦略を十分に表現できるといえる。

6. 4 まとめ

既存の多くの研究が大都市圏を対象としてケーススタディを行っていることに対して、本研究では、大都市圏に限らない各種都市活動の立地メカニズムを分析するため、京都市・滋賀県を対象地域として、第 5 章で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの各種パラメータ推定と現況再現性の検証を行った。

パラメータ推定結果は、いずれのサブモデルも概ね良好な結果が得られた。特に自然増減率のパラメータ推定結果は、近年社会的な問題となっている少子化の進行をそのまま反映した。なお、第 4 章で述べた土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向から、生活機会への接近性を考慮するため採択した人口へのアクセシビリティ説明変数、また、集積経済を考慮するために採択した各ゾーンにおける商業業務従業者数と製造業従業者数も有効な結果が得られた。ところが、土地供給モデルにおいては、バブル経済の崩壊による地価の下落によって決定係数（補正 R²）が低く、満足すべき結果が得られなかった。

そして、個別に推定した各サブモデルを組み合わせ、すなわち、全体的な環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの現況再現性を検証するため、モデルによる推計値と実際値を比較した。その結果、いずれの指標も相関係数は 0.9 以上を示し、本研究で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルは非常に良好な再現性を示していることが証明された。なお、構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いて 19

95年におけるCO₂排出量およびエネルギー使用量を推計した。

本モデルはこれらの結果から、都市の持続可能性指標および持続可能な交通戦略を十分に表現できることを示した。

[第6章参考文献]

- 1)国土庁大都市圏整備局：京都・大津広域都市圏の整備プラン, 1996.
- 2)電力中央研究所：産業連関表を用いた我が国の生産活動に伴う環境負荷の実態分析, 研究報告 Y97017, 電力中央研究所報告, 1998.
- 3)吉岡完治・外岡 豊・早見 均・池田明由・管 幹雄：環境分析のための産業連関表の作成, 慶応大学産業研究所, 1992.
- 4)京都府総務部統計課：きょうとの産業連関表, 2000.
- 5)滋賀県統計協会：滋賀県産業連関表, 2000.
- 6)近藤美則・森口祐一：産業連関表による二酸化炭素排出源単位, 環境庁 国立環境研究所 地球環境研究センター, 1997.

第7章 道路交通政策の評価

本章では、第5章で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いて道路整備による効果計測を行う。そして、その結果から、交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響に関する検証や土地利用と交通との相互作用による誘発交通に関する検証、道路整備による間接効果の計測を行い、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性を主張する。

さらに、既存の交通モデルと環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを利用者便益と、都市の持続可能性指標および持続可能な交通戦略との関連性から比較し、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性を主張する。また、道路整備とTDM政策との比較を行い、持続可能な交通政策としてTDM政策の積極的な導入を主張する。

7.1 土地利用・交通相互作用モデルの必要性の検証

7.1.1 政策シミュレーションの概要

本研究では、第2章で述べたように都市周辺部への道路整備がもたらすスプロールや道路整備による土地利用変化によって発生する誘発交通などの検証のため、都心部と周辺部を結ぶ道路整備と、交通費用の非常に大きな減少効果をもたらす道路整備、の二つのケースの道路整備を対象としてケーススタディを行う。

そのため、都心部と周辺部を結ぶ道路整備を想定したケース1は、京都市と太湖湖南地域（大津市・草津市・守山市・栗東町・中主町・野洲町・志賀町）を結ぶ太湖横断軸の整備を対象とする。また、道路整備が大きな交通費用の減少をもたらす場合を想定したケース2は、対象地域である京都市・滋賀県におけるすべての将来計画路線の整備を対象としている。

さらに、土地利用と交通との相互作用を考慮しない既存の交通モデル（以下、既存の交通モデル）による利用者便益と、本研究で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルによる利用者便益、の二つの結果を算出し、それぞれのケースにおいて比較分析を行うこととする。

(1) ケース1

太湖横断軸供用開始年次は2020年と仮定し、太湖横断軸と関連する他の計画路線については、表7.1.1に示すように、順次供用開始すると仮定した。本研究のケース1で対象とした道路ネットワークを図7.1.1に示す。なお、太湖横断軸の諸元を表7.1.2に示す。

ケース1における道路整備の効果計測に関して以下に述べる。

ケース1においては、1995年の夜間人口、商業業務従業者数、地価、OD交通量など

の各種統計データを環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルにインプットし、2000年、2005年、2010年、2015年、2020年の5時点について、表7.1.1に示すように、順次計画路線が整備されると仮定し、各時点の地域経済指標ならびに交通関係指標を予測する。そして、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いて、2020年に南湖横断軸が整備された場合（with case）と整備されなかった場合（without case）について、2025年、2030年、2035年、2040年の計4時点について夜間人口、商業業務従業者数、工業従業者数、間接効果などを予測する。また、既存の交通モデルと環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの各々のモデルにおける2020年から2040年までの20年間の利用者便益を求める。

表 7.1.1 ケース 1 における計画路線の供用年次

年次	整備路線名
2005	R1 バイパス（水口拡幅、水口 BP）
2010	第 2 名神（三重～名神接続） R1 バイパス（栗東水口道路Ⅰ，Ⅱ工区） 名神～R1BP 連結 名神・名阪連絡道路（名神～土山 BP）
2015	R1 バイパス（土山 BP） 第 2 名神（名神接続～京都） 名神・名阪連絡道路（土山 BP～第 2 名神～三重） R1 バイパス（栗東瀬田道路）
2020	R1 バイパス（大津山科道路） 京津トンネル 南湖横断軸

表 7.1.2 関連料金設定

路線名	車線数	距離 (Km)	速度 (Km/h)	容量 (台/日)	料金 (円)
南湖横断軸	4	14.5	60	44,000	200

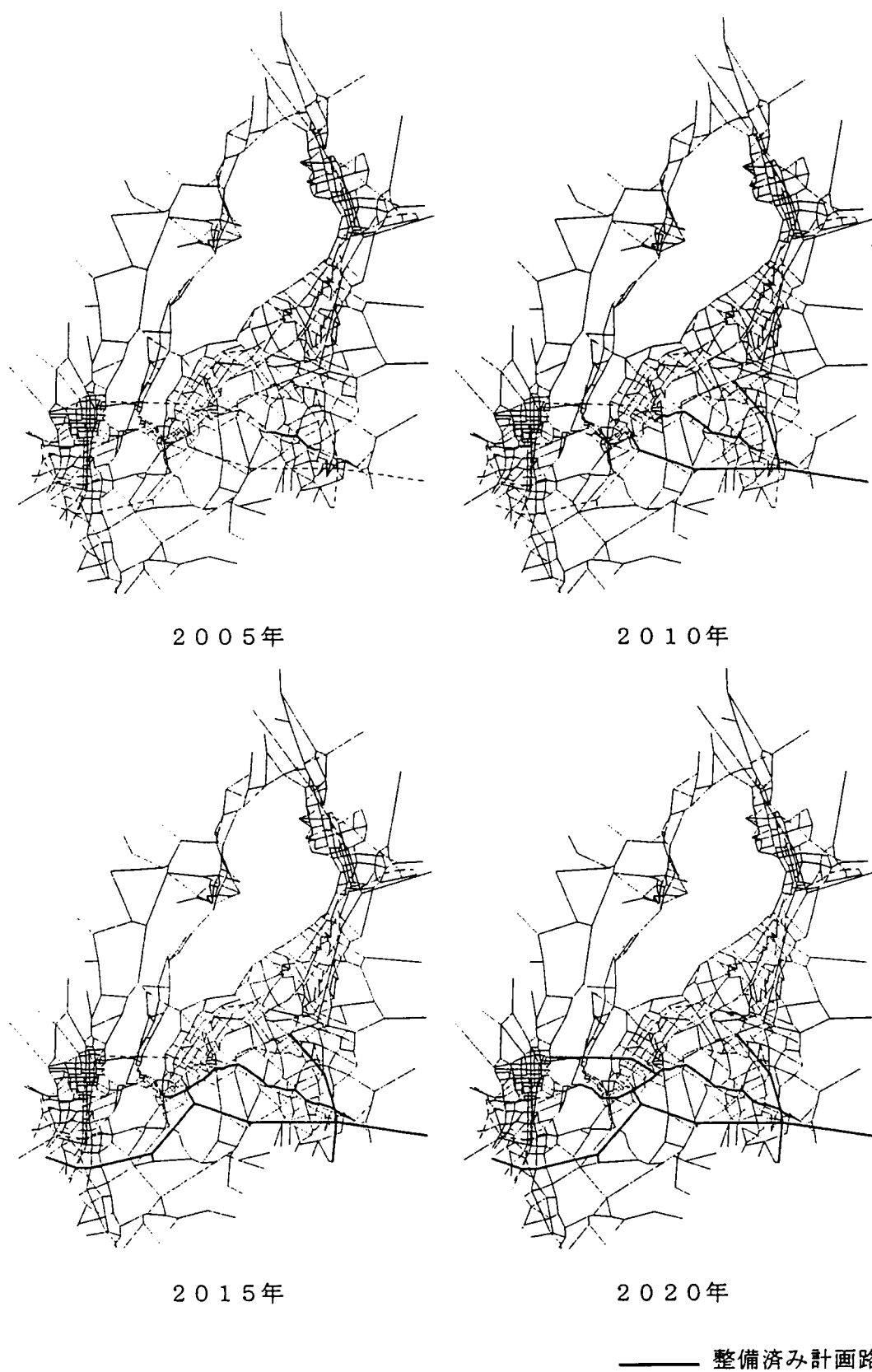


図 7.1.1 ケース 1 で対象とした道路ネットワーク

(2) ケース 2

ケース 2 では、道路整備が大きな交通費用の減少をもたらし、土地利用変化による誘発交通量の増加が大きい場合を想定する。そのため、対象地域である京都市・滋賀県において、南湖横断軸を含むすべての将来計画路線が 1995 年にすべて整備されると仮定した。本研究のケース 2 で対象とした道路ネットワークを図 7.1.2 に示す。

ケース 2 における道路整備の効果計測に関して以下に述べる。

ケース 2 においては、1995 年に京都市・滋賀県のすべての将来計画路線（以下、将来計画路線）が整備された場合（with case）と整備されなかった場合（without case）について、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年の計 5 時点について夜間人口、商業業務従業者数、工業従業者数などを予測する。また、既存の交通モデルと環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの各々のモデルにおける 1995 年から 2025 年までの 30 年間の利用者便益を求める。

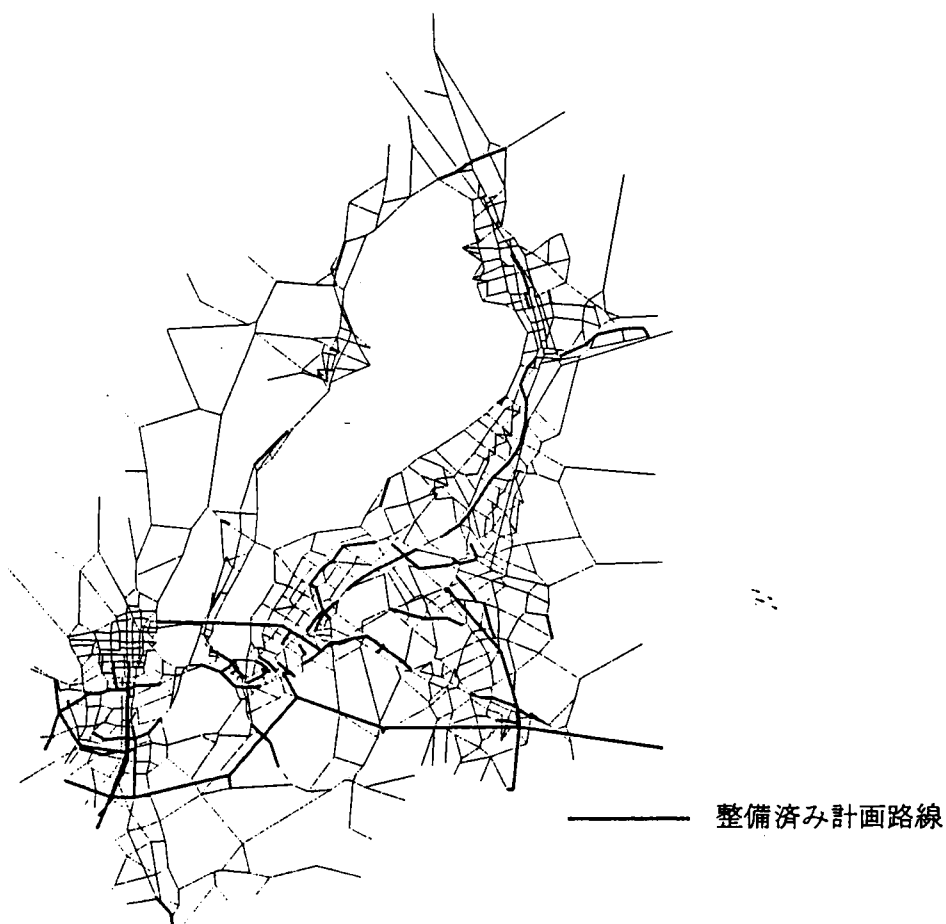


図 7.1.2 ケース 2 で対象とした道路ネットワーク

7.1.2 交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響に関する検証

第2章で述べたように、道路システムの拡大は、都市の無計画的な周辺地域への拡散、すなわち、スプロールを助長する可能性があり、またこれによって、公共サービスのコストの増加や土地価格の上昇、農地の開発、地域社会意識の欠如、汚染の増加、都市の中心部の衰退など、悪影響が起こり得る。さらにスプロールは、交通の面において、日当り走行距離（Daily VMT）の増加や旅行時間の増加、自動車利用の増加、公共交通の非効率性などの悪影響を及ぼす。そのため、交通計画においては、土地利用と都市構造形成、特に、スプロールを助長するかどうかを考え、土地利用と交通との相互作用を考慮しなければならない。

ところが、既存の交通モデルにおいては、道路整備が土地利用と都市構造形成に及ぼす影響を考慮することができない。

そこで、ここでは環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを利用して、交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響を実証的に検証し、土地利用と交通との相互作用を考慮しなければならないことを証明することとする。

ケース1において、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いて推定した南湖横断軸の供用後の2025年～2040年の対象地域における夜間人口、商業業務従業者数、工業従業者数、従業者数の推定結果を図7.1.3～7.1.6に示す。また、南湖横断軸の供用後、京都市と滋賀県、そして、大津湖南地域の各市町における夜間人口と従業者数の変化を図7.1.7～7.1.12に示す。さらに、大津湖南地域における住宅・商業業務地の面積と工業地の面積の変化を図7.1.13および図7.1.14に示す。

図7.1.3～7.1.6の夜間人口、商業業務従業者数、工業従業者数、従業者数の変化や図7.1.7の京都市夜間人口の変化、図7.1.8の京都市従業者数の変化から、南湖横断軸の整備は、京都市と大津湖南地域との間の交通費用減少の便益を受けようとする京都市の人口と産業の大津湖南地域への移動を起こし、Without ケースに比べてスプロールを加速化させたことが分かる。これは、図7.1.11と図7.1.12に示すように、大津湖南地域の各市町における夜間人口と従業者数が Without ケースに比べて増加したことや、図7.1.9と図7.1.10に示すように、滋賀県の夜間人口と従業者数が Without ケースに比べて増加したことから確認できる。

この結果から、第2章で述べた、「都市周辺部への交通投資は、都心部と周辺部との間の交通費用を減少させ、周辺部地域の開発を促進し、スプロールを助長する。」という理論が証明できる。さらに、図7.1.13と図7.1.14に示すように、大津湖南地域の住宅・商業業務地および工業地の面積が Without ケースに比べて増加したことから、スプロールが自然資源である農地などを開発し自然破壊に寄与することが検証できる。特に、図7.1.7と図7.1.8に示すように、京都市の夜間人口と従業者数が Without ケースに比べて減少したことから、都市周辺部への交通投資が都市中心部の衰退を起こり得るといったスプロールの悪影響に関しても実証的に証明できる。

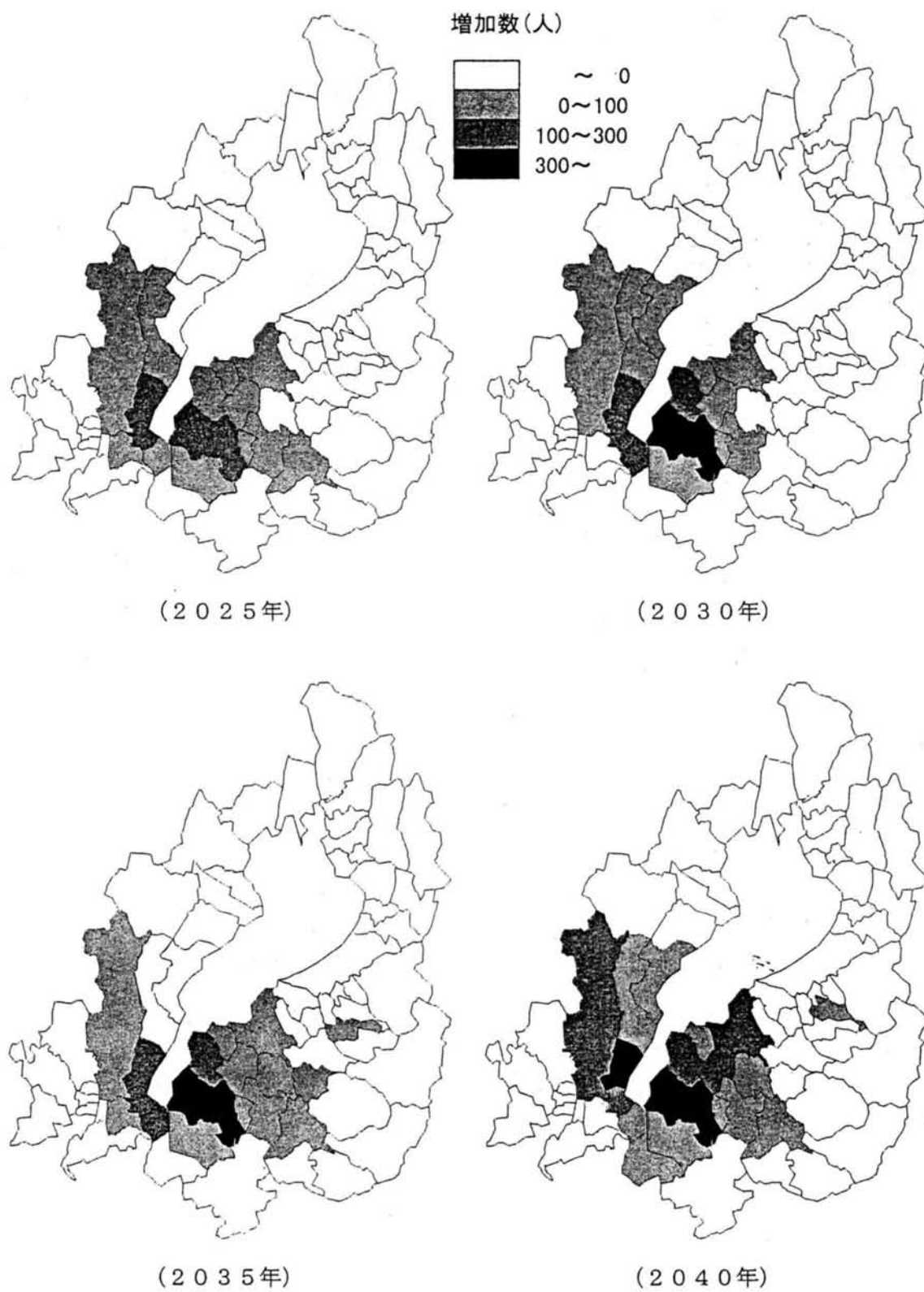


図 7.1.3 ケース 1 における夜間人口の変化 (With - Without)



図 7.1.4 ケース 1 における商業業務従業者数の変化 (With - Without)



図 7.1.5 ケース 1 における工業従業者数の変化 (With - Without)

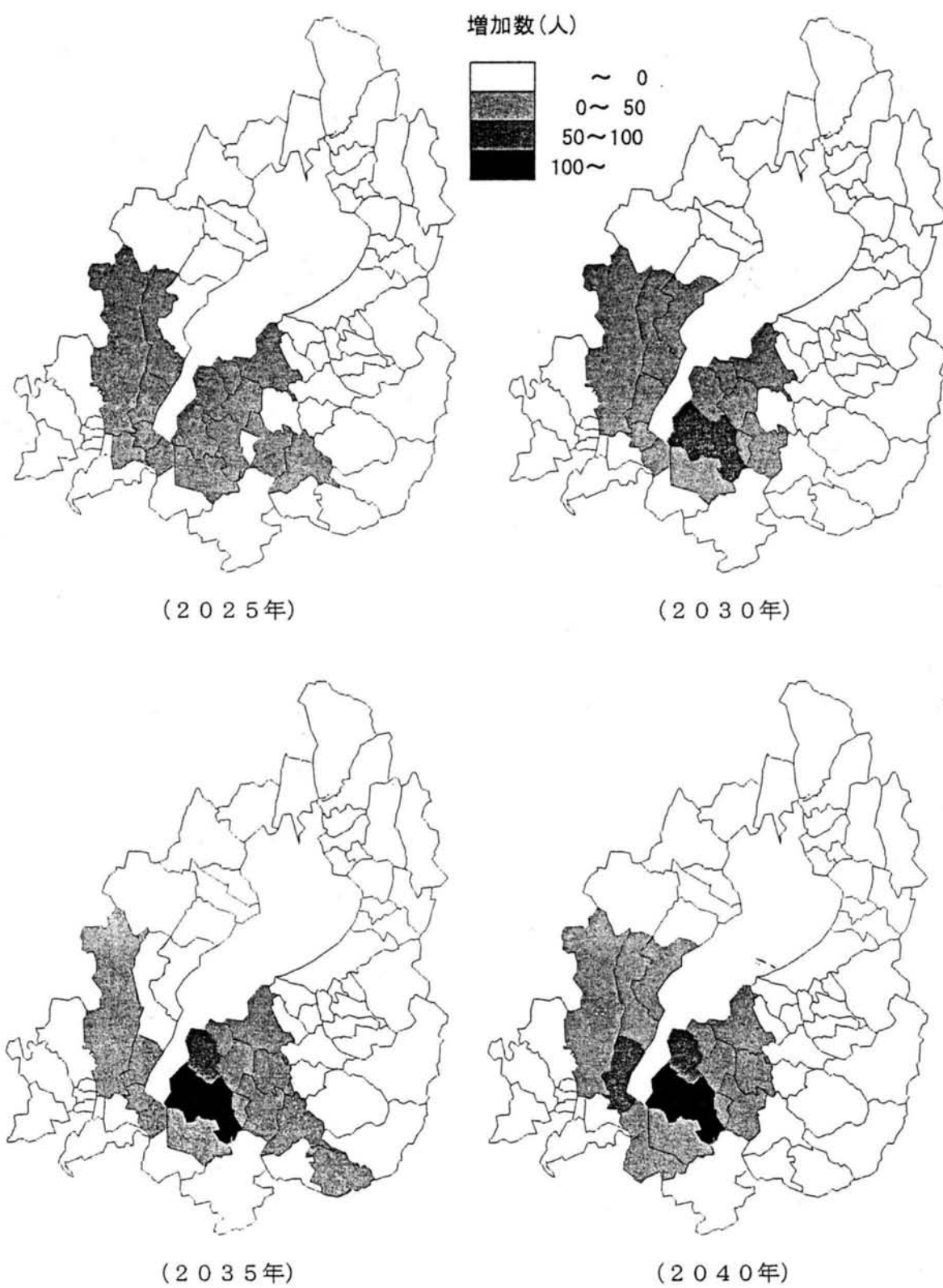


図 7.1.6 ケース 1 における従業者数の変化 (With - Without)

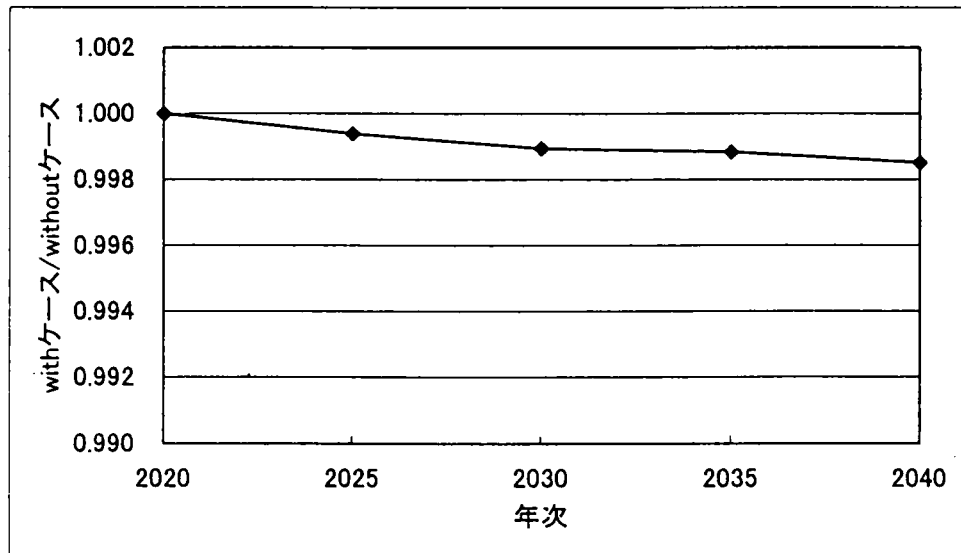


図 7.1.7 ケース 1 における京都市夜間人口の変化

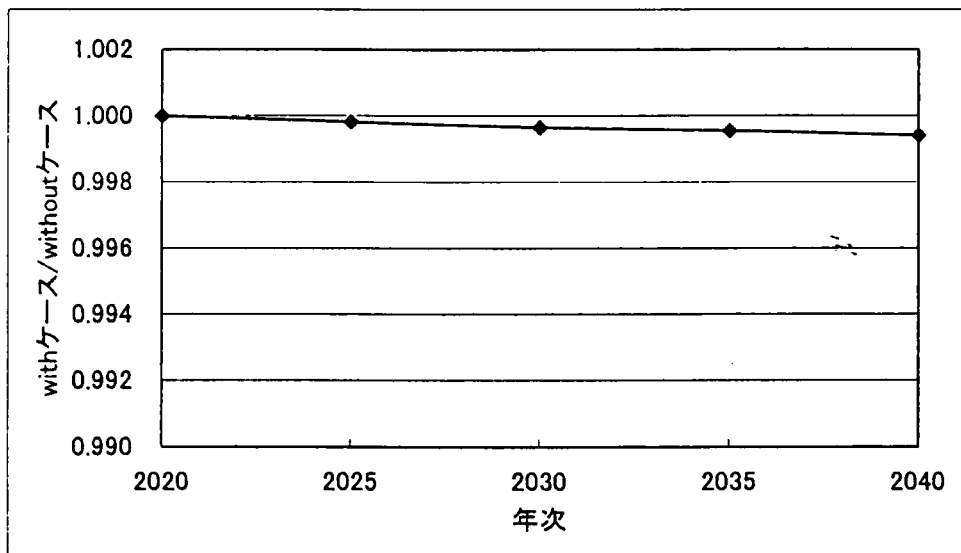


図 7.1.8 ケース 1 における京都市従業者数の変化

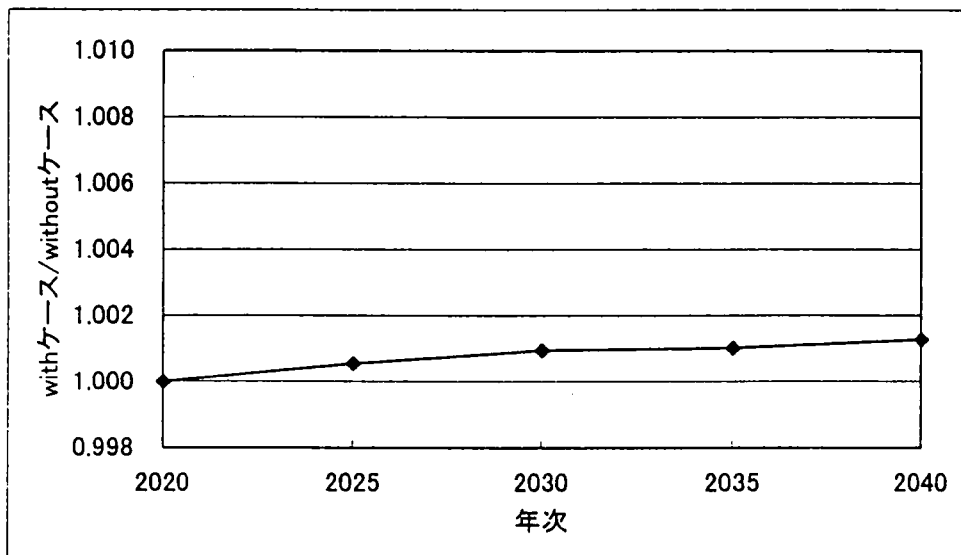


図 7.1.9 ケース 1 における滋賀県夜間人口の変化

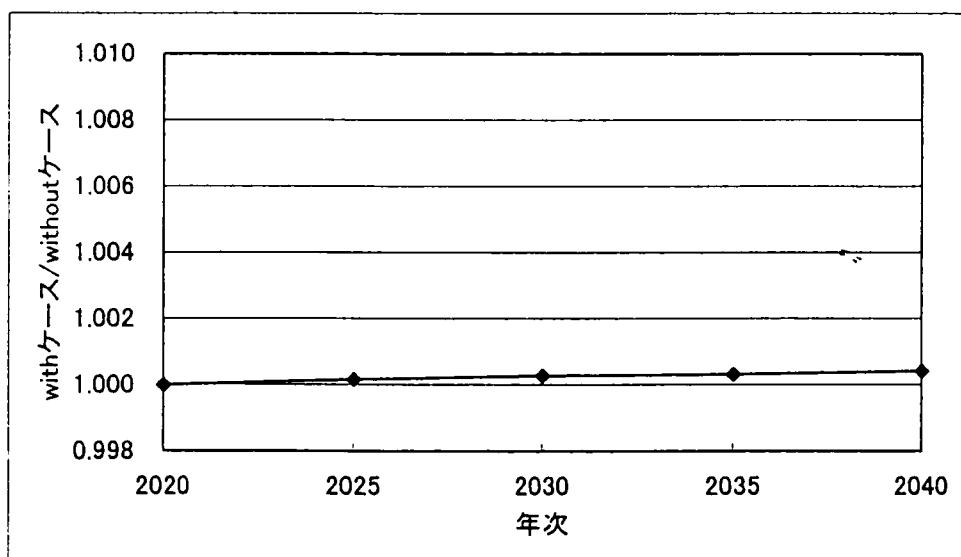
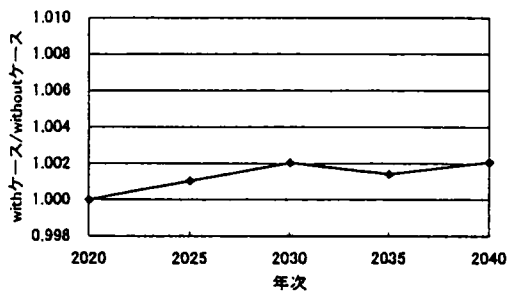
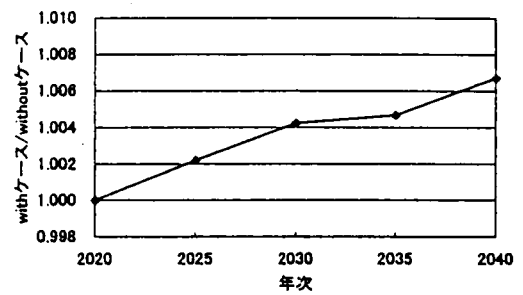


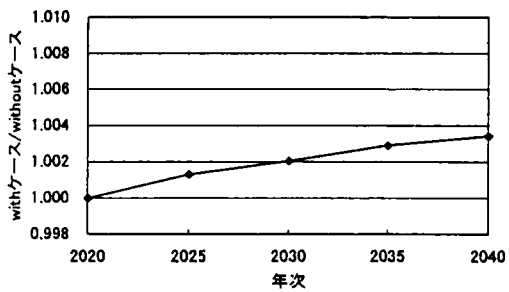
図 7.1.10 ケース 1 における滋賀県従業者数の変化



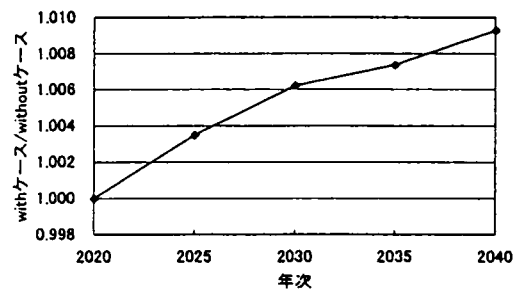
大津市



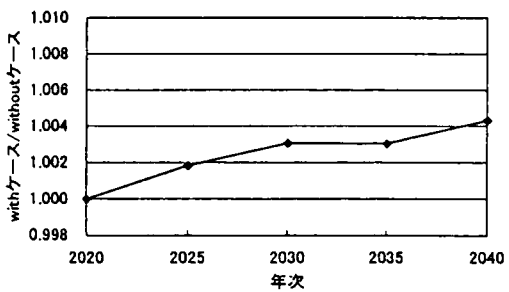
草津市



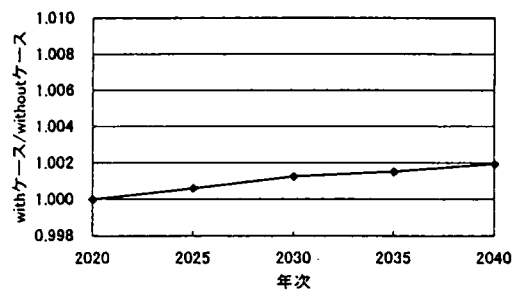
守山市



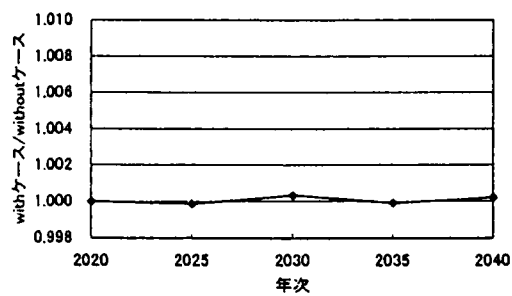
栗東町



中主町

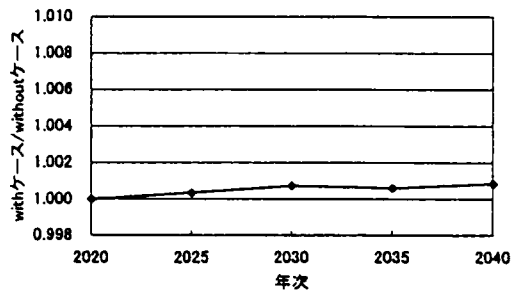


野洲町

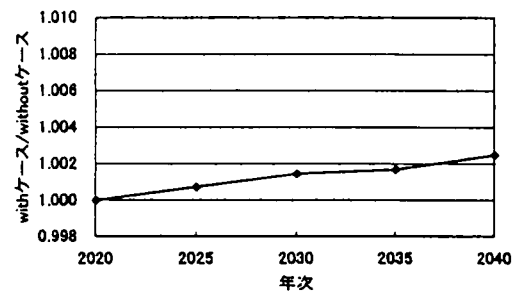


志賀町

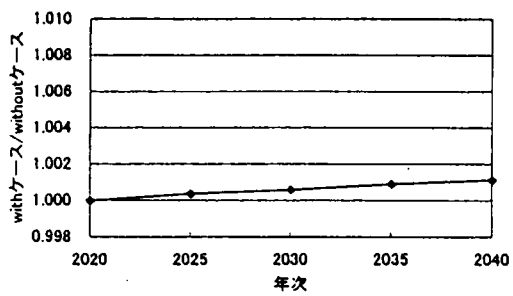
図 7.1.11 ケース 1 における大津湖南地域の夜間人口の変化



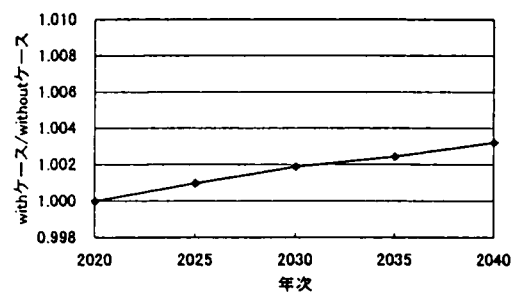
大津市



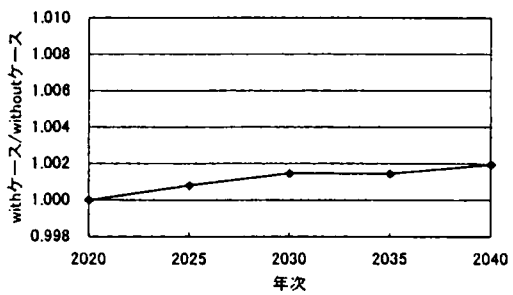
草津市



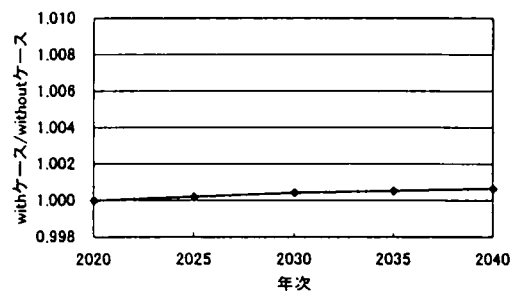
守山市



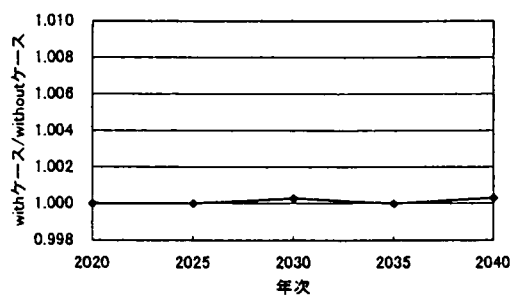
栗東町



中主町



野洲町



志賀町

図 7.1.12 ケース 1 における大津湖南地域の従業者数の変化

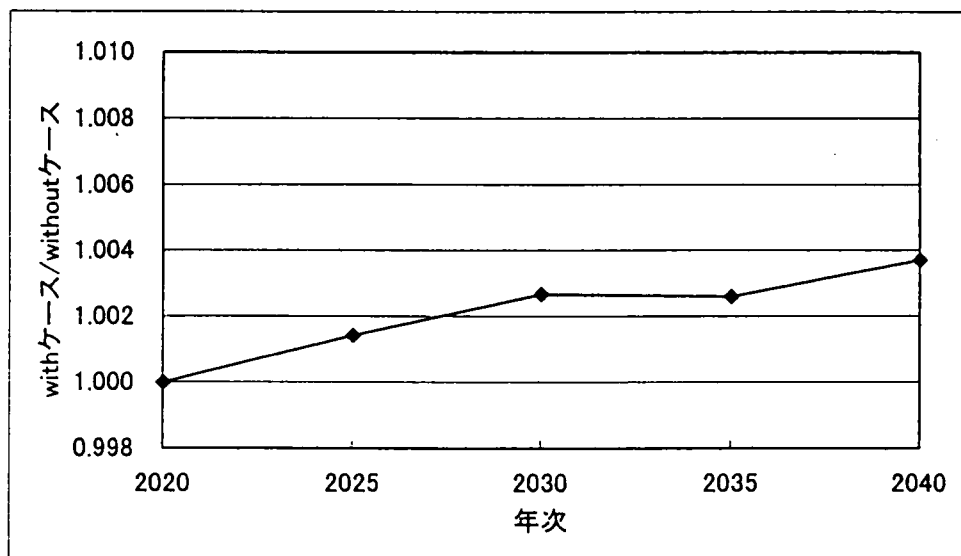


図 7.1.13 ケース 1 における大津湖南地域の住宅・商業業務地面積の変化

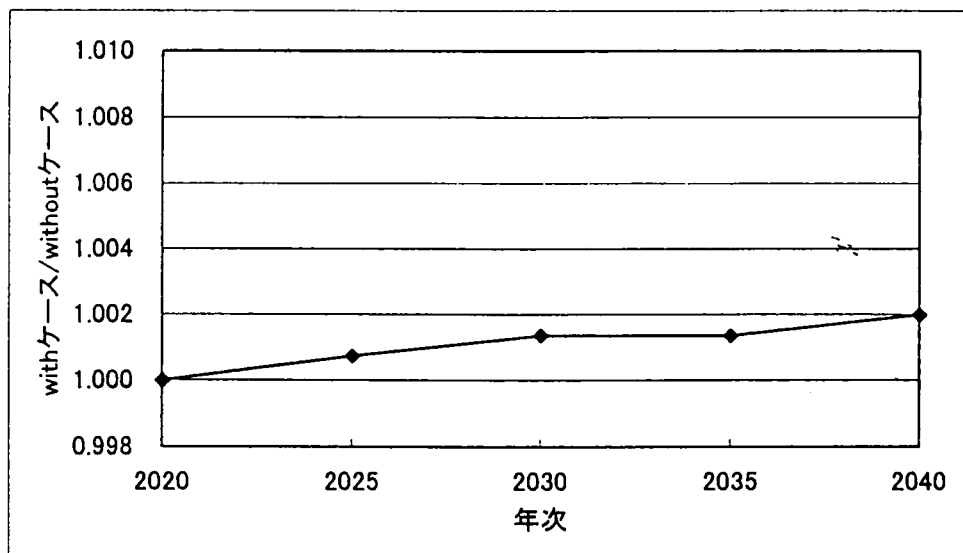


図 7.1.14 ケース 1 における大津湖南地域の工業地面積の変化

ケース2において、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いて推定した将来計画路線の供用後の2000年～2020年の対象地域における夜間人口、商業業務従業者数、工業従業者数の推定結果を図7.1.15～7.1.17に示す。また、将来計画路線の供用後、京都市と滋賀県、そして、大津湖南地域の守山市における夜間人口と従業者数の変化を図7.1.18～7.1.23に示す。さらに、大津湖南地域における住宅・商業業務地の面積と工業地の面積の変化を図7.1.24および図7.1.25に示す。

ケース2は、道路整備が大きな交通費用の減少をもたらすことを想定した場合である。

図7.1.15～7.1.17の夜間人口、商業業務従業者数、工業従業者数の変化から、ケース2で仮定した道路整備は、京都市と滋賀県南部地域との間の交通費用の減少をもたらし、人口と産業がWithoutケースに比べて大津湖南地域を中心とした滋賀県南部地域へ多く移動したことが分かる。そして、図7.1.18と図7.1.19に示すように、京都市夜間人口および従業者数がケース1に比べて大きく減少したことがわかる。

これは、交通費用減少効果が大きい場合には、スプロールももっと拡大されることを示す。例えば、守山市においてケース1の場合、Withoutケースに対するWithケースの夜間人口と従業者数の増加率は、図7.1.11と7.1.12から分かるように20年後それぞれ1.0034と1.0011であるが、ケース2の場合には図7.1.22と7.1.23から分かるように20年後それぞれ1.0409と1.0175として、交通費用の減少が大きいほど、人口と産業の移動も大きいことが分かる。また、図7.1.13、図7.1.14、図7.1.24、図7.1.25の大津湖南地域における住宅・商業業務地および工業地の面積の変化から分かるように、交通費用の減少が大きいほど、スプロールも拡大され、農地などの開発による自然破壊も増加したことが分かる。

以上のことから、交通が土地利用と都市空間構造形成に大きな影響力を持っていることが証明できた。特に、道路システムの拡大はスプロールを助長する可能性があり、これによって、農地の開発や都市中心部の衰退などの悪影響が生じる可能性があることを実証的に示した。

そして、本研究で取り上げた道路整備は、スプロールを制限し土地の混合利用を促進する交通システム、あるいはコンパクトな都市形態に重点を置いた交通システムとは、反対の計画になる可能性が高いことが分かる。

そこで、交通計画においては、交通と土地利用との関連性を考慮し、交通に関する決定が土地利用と都市構造に与える影響をあらかじめ予測して、交通に関する決定を都市計画や土地利用計画などの関連計画と総合的に行わなければならない。

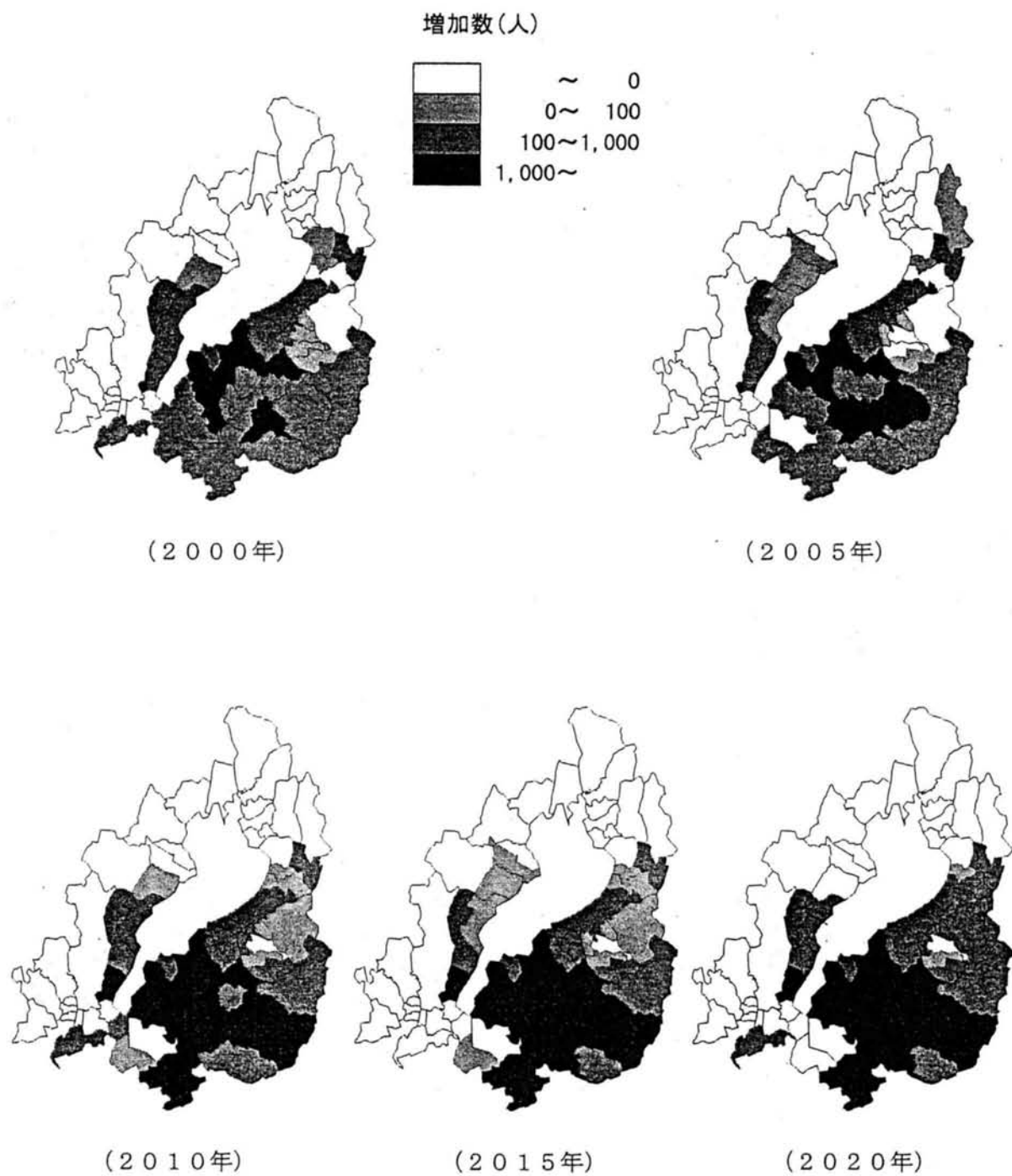


図 7.1.15 ケース 2 における夜間人口の変化 (With - Without)

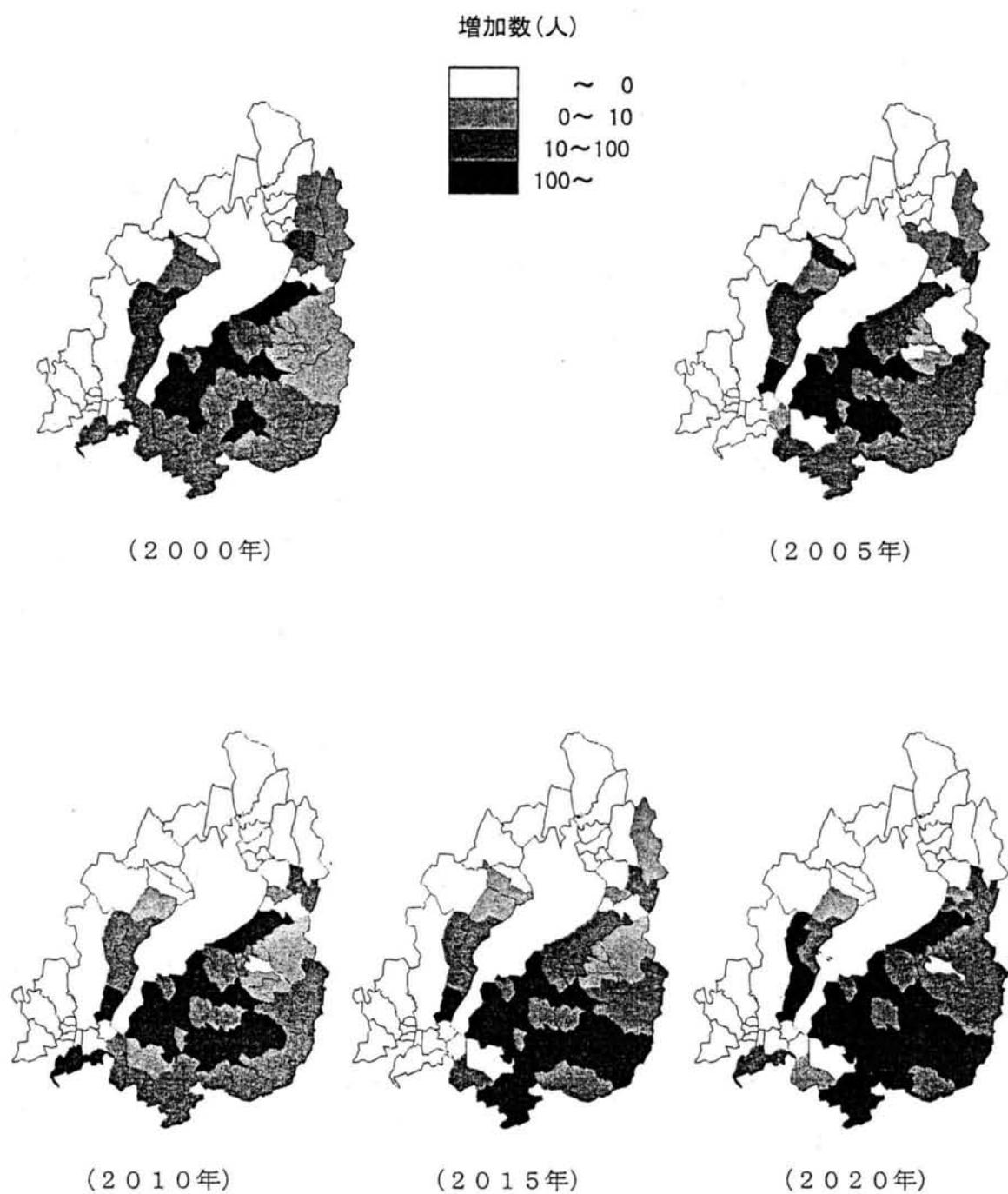


図 7.1.16 ケース 2 における商業業務従業者数の変化 (With - Without)

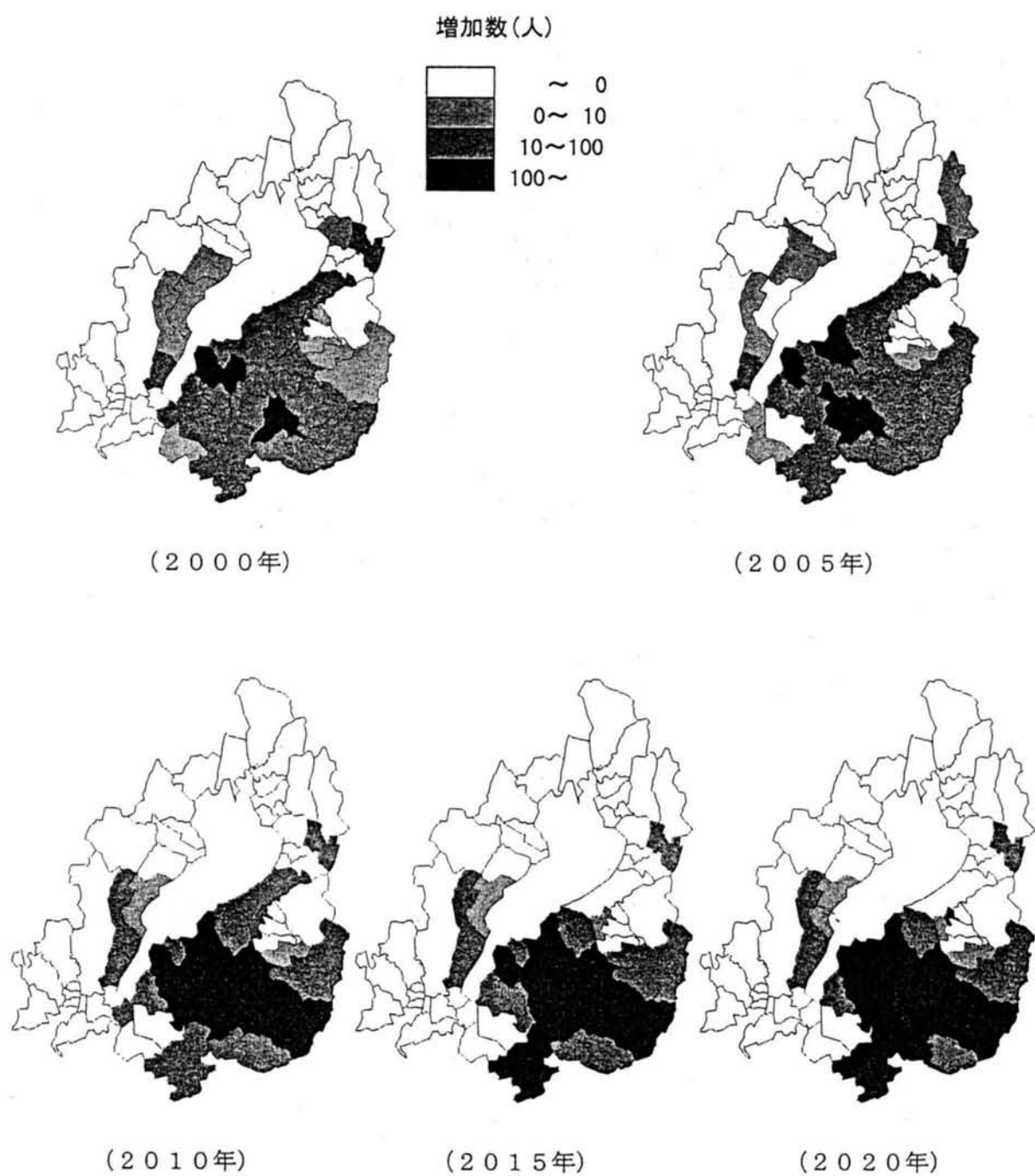


図 7.1.17 ケース 2 における工業従業者数の変化 (With - Without)

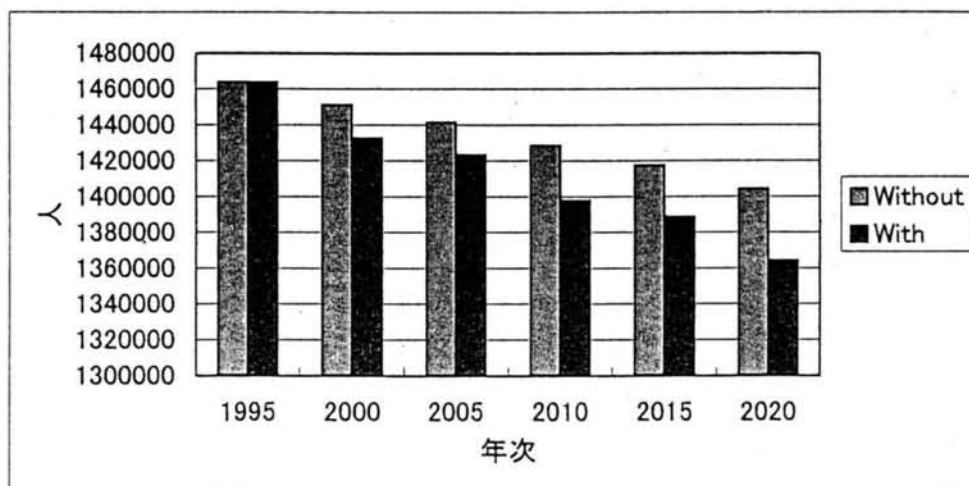


図 7.1.18(1) ケース 2 における京都市夜間人口の変化

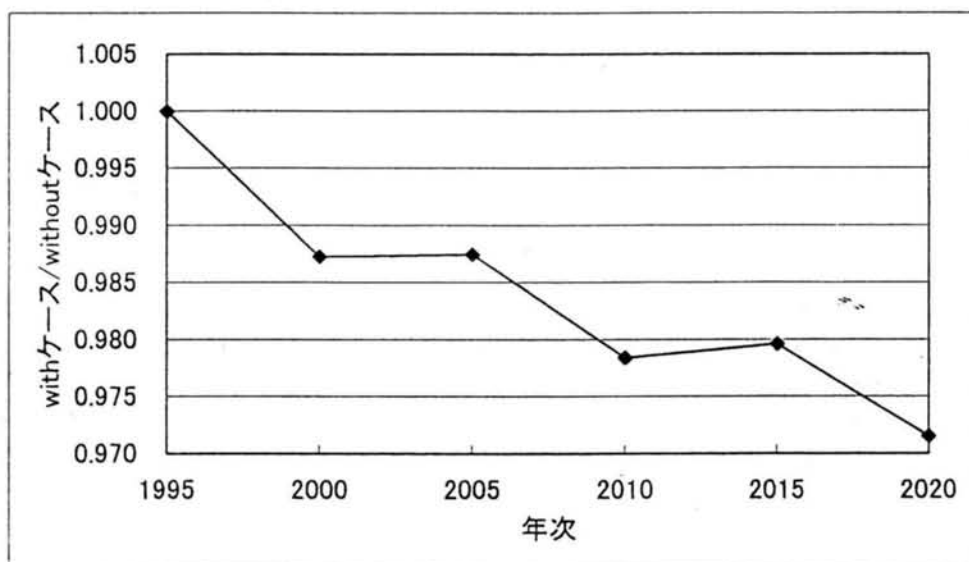


図 7.1.18(2) ケース 2 における京都市夜間人口の変化

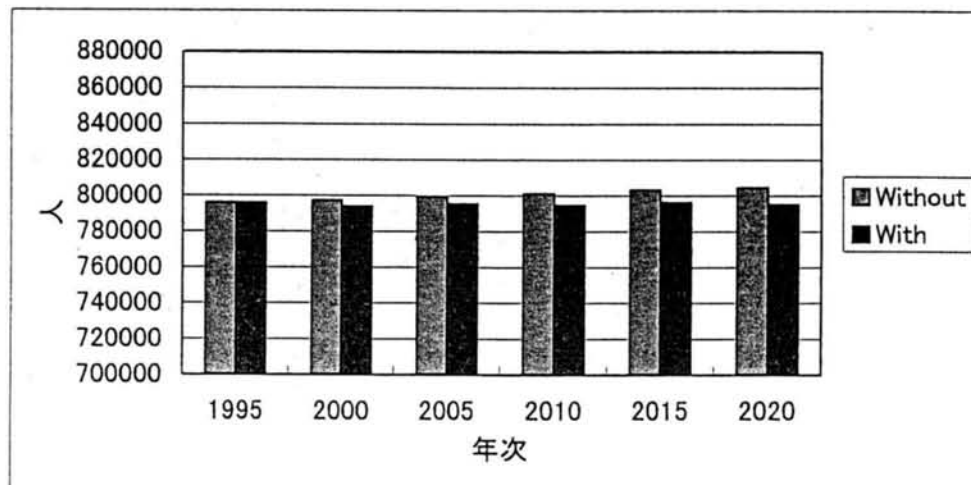


図 7.1.19(1) ケース 2 における京都市従業者数の変化

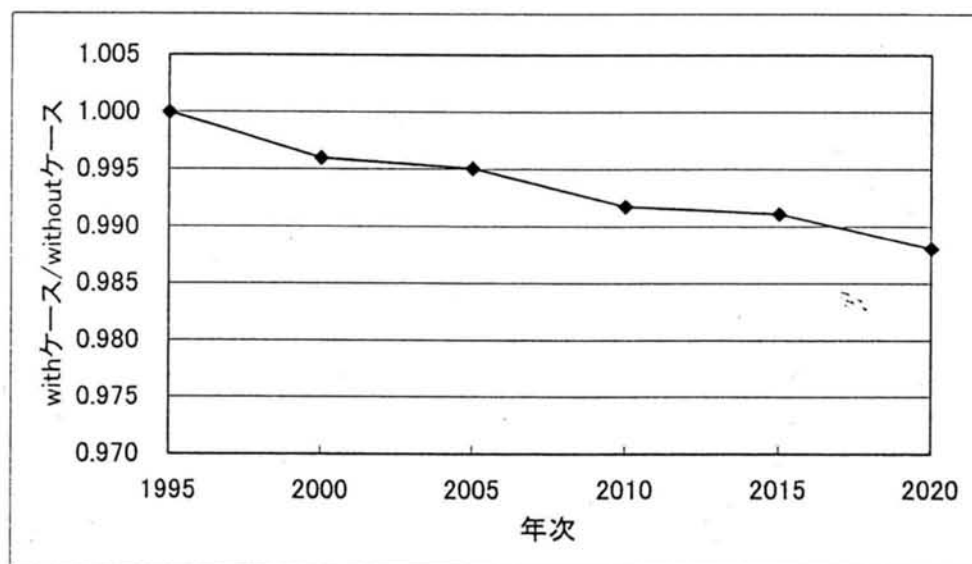


図 7.1.19(2) ケース 2 における京都市従業者数の変化

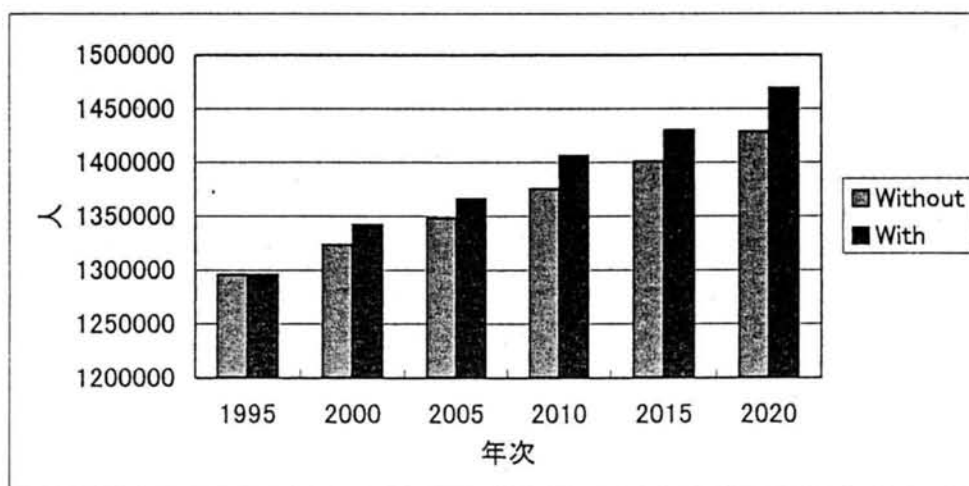


図 7.1.20(1) ケース 2 における滋賀県夜間人口の変化

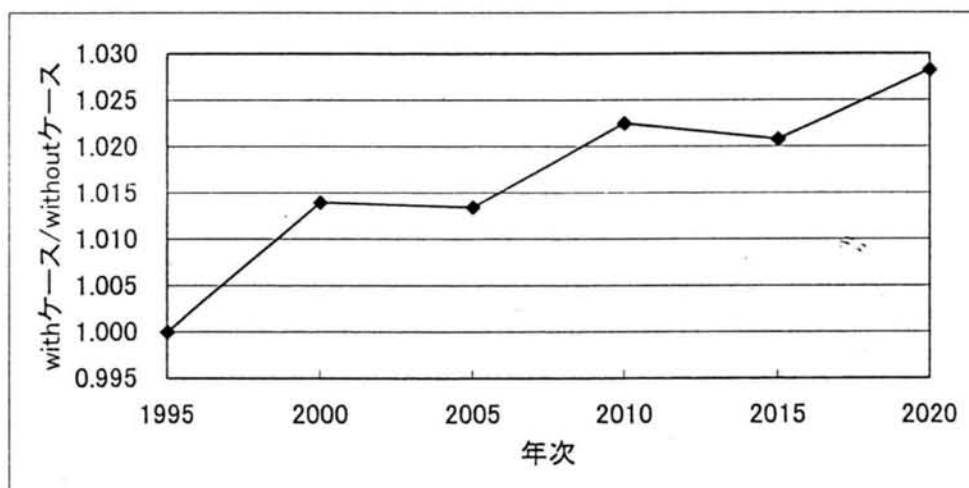


図 7.1.20(2) ケース 2 における滋賀県夜間人口の変化

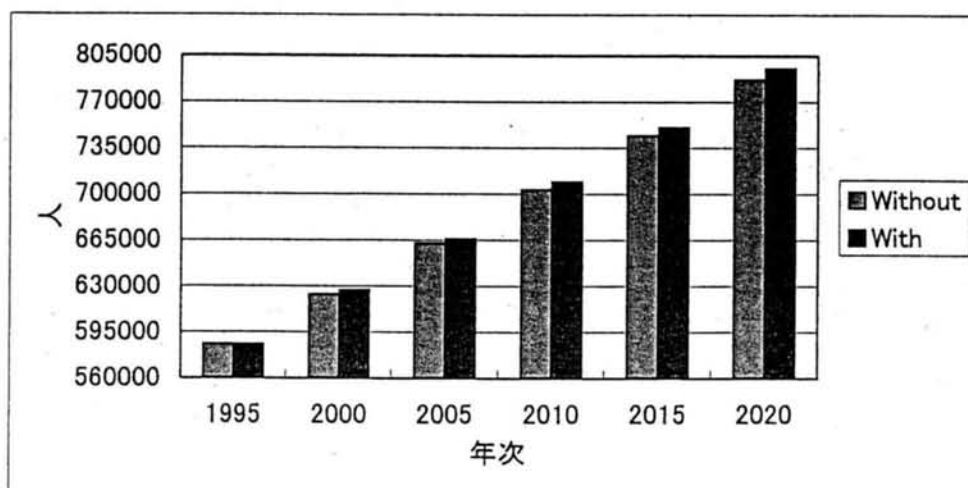


図 7.1.21(1) ケース 2 における滋賀県従業者数の変化

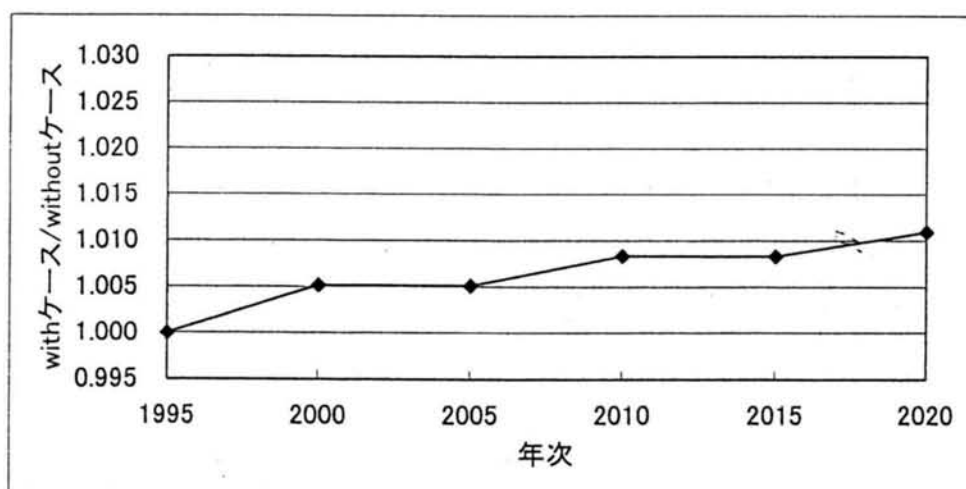


図 7.1.21(2) ケース 2 における滋賀県従業者数の変化

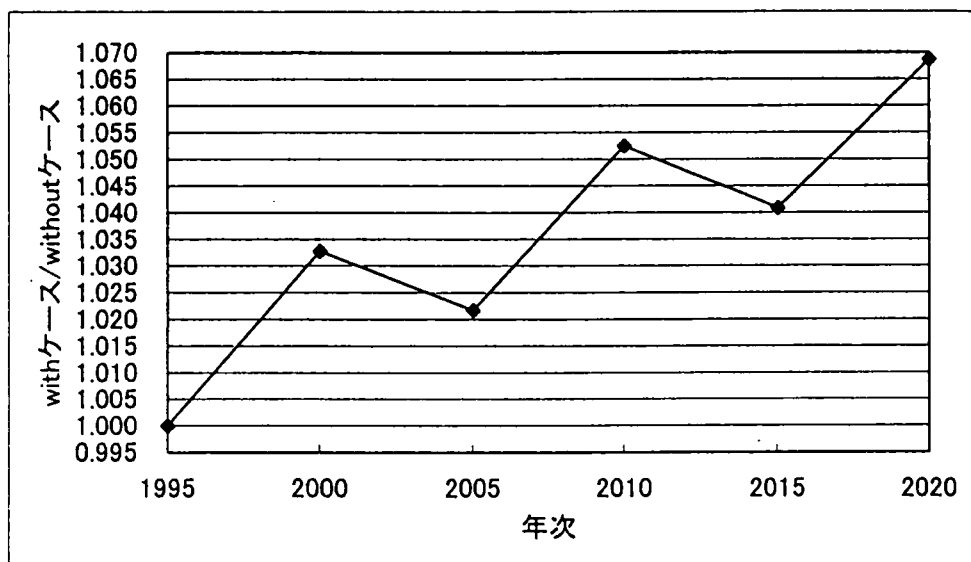


図 7.1.22 ケース 2 における守山市夜間人口の変化

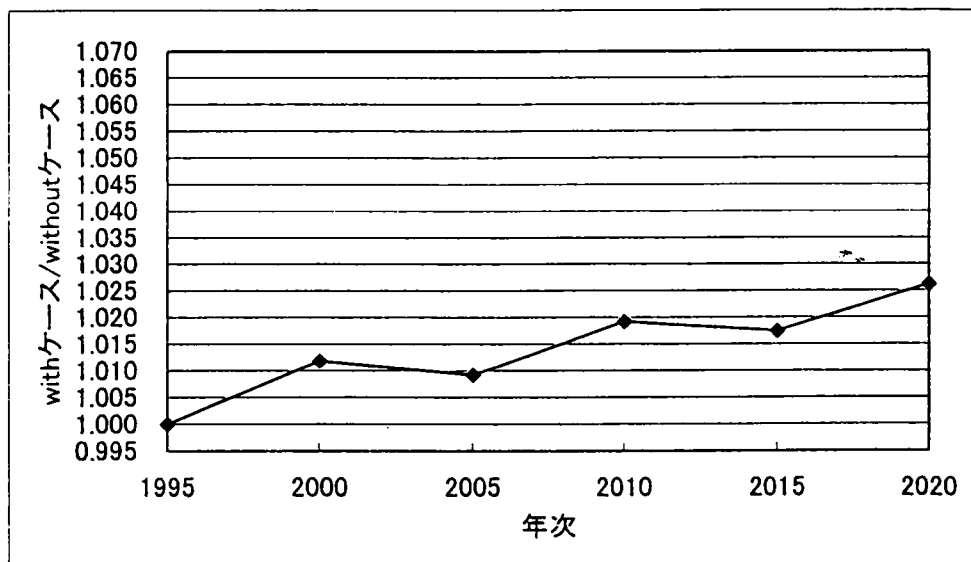


図 7.1.23 ケース 2 における守山市従業者数の変化

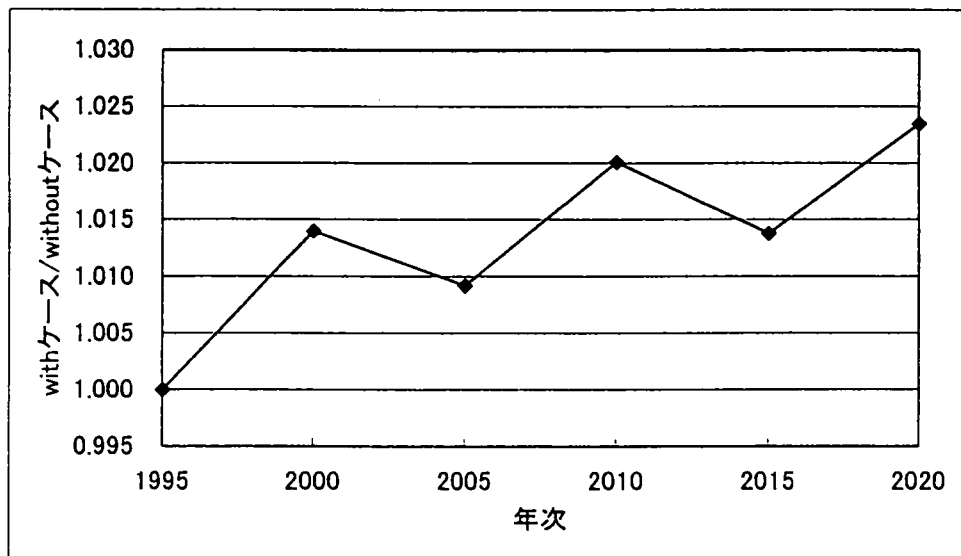


図 7.1.24 ケース 2 における大津湖南地域の住宅・商業業務地面積の変化

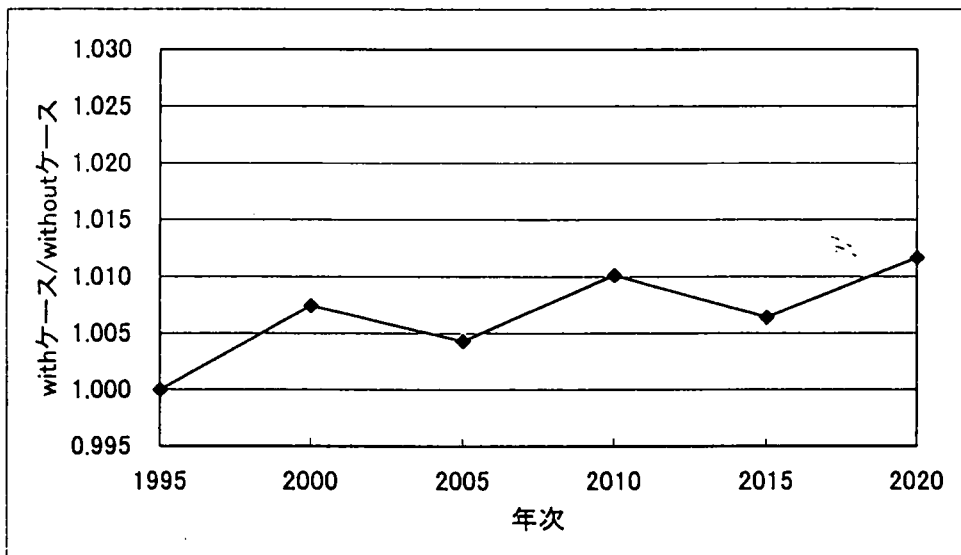


図 7.1.25 ケース 2 における大津湖南地域の工業地面積の変化

7.1.3 土地利用と交通との相互作用による誘発交通に関する検証

第5章で述べたように、中長期的には、道路整備に伴う交通条件（アクセシビリティ）の変化によって、社会経済活動の立地が変更され、新たな交通、すなわち、誘発交通が発生する。ところが、既存の交通モデルはこのような土地利用の変化からの誘発交通を無視しているため、便益評価には歪みが生じる可能性がある。

本研究では、土地利用の変化からの誘発交通のインパクトを明確化し、実際計画において土地利用と交通との相互作用が考慮されなければならないことを実証的に示すため、交通モデルの構築の際、交通機関分担率を固定し、土地利用変化のみによる誘発交通が分析できるようにした。

ここでは、土地利用・交通相互作用モデルの必要性を実証的に検証するために、既存の交通モデルによる利用者便益と、本研究で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルによる利用者便益の比較分析を行う。

ケース1およびケース2における利用者便益の推定結果を表7.1.3および表7.1.4に示す。ただし、推定結果は、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルによる利用者便益を基準として示す。

表 7.1.3 ケース1における利用者便益推定結果

モデル	利用者便益 (%)
既存の交通モデル	98.3
環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデル	100.0

表 7.1.4 ケース2における利用者便益推定結果

モデル	利用者便益 (%)
既存の交通モデル	113.3
環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデル	100.0

表 7.1.3 の結果から、既存の交通モデルは南湖横断軸の整備によって新たに発生した誘発交通に伴う追加的便益を考慮していないことが分かり、大きな交通費用の減少を想定したケース2における表 7.1.4 の結果からは、既存の交通モデルが土地利用変化による誘発交通に伴う便益の損失を無視して便益を推定したため、便益を過大評価していることが分かる。すなわち、表 7.1.3 の結果は、第2章で述べた図 2.1.3 の誘発交通に伴う追加的便益を示しており、表 7.1.4 の結果は、図 2.1.5 の土地利用変化による誘発交通に伴う便益の損失を示している。

7.1.2 の図 7.1.15～7.1.17 に示しているケース2における夜間人口や商業業務従業者数、工業従業者数の変化から分かるように、交通費用の減少が大きい場合、ケース1に比べて

交通費用の減少の便益を受けるため立地を移転させる人口や産業はもっと多くなる。これによって、新たに発生した誘発交通は、図 2.1.5 に示している需要曲線 D_1 を D_2 にシフトさせる。その結果、利用者便益は、土地利用を考慮しなかった場合の C_0ABC_2 ではなく、 C_0AFC_3 となる。

以上のことから、道路投資による土地利用の変化を考慮しなかった場合には、便益評価に歪みが生じることが分かり、利用者便益の評価においては、道路投資が土地利用に及ぼす影響を考慮しなければならないことが証明できる。

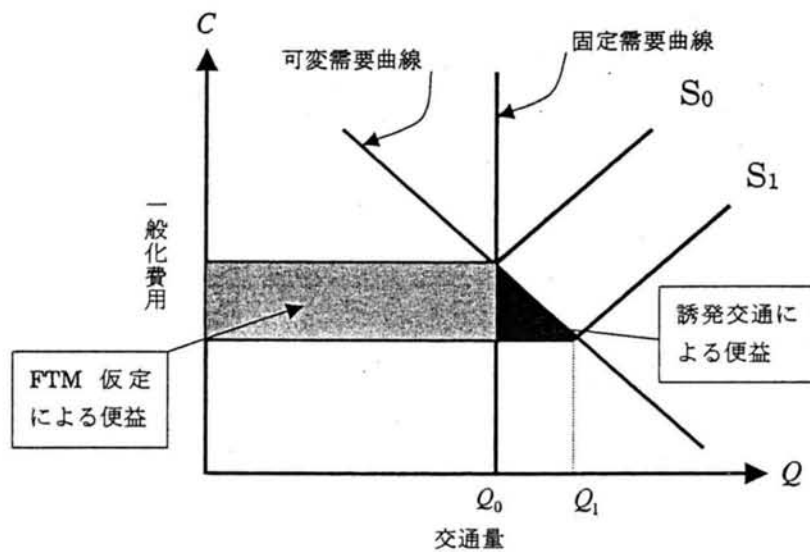


図 2.1.3 誘発交通に伴う追加的便益

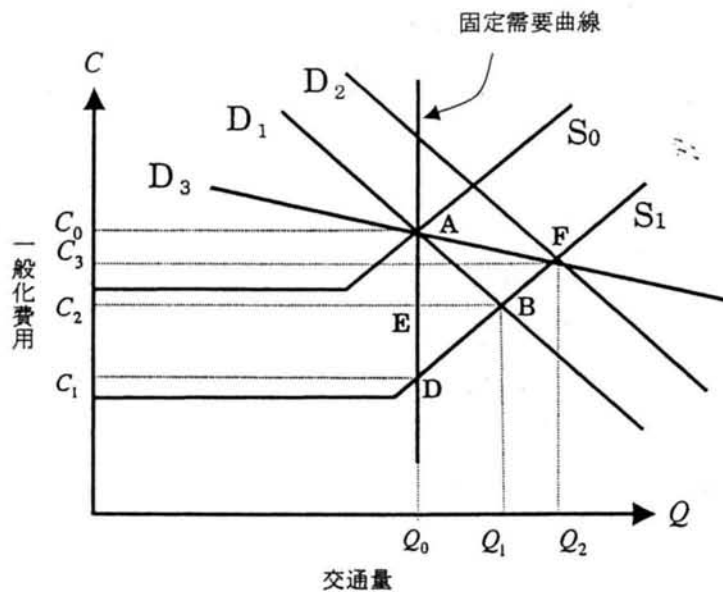


図 2.1.5 土地利用変化による誘発交通に伴う便益の損失

さらに、第2章では、混雑している経路の道路投資によって、逆にもっと混雑になる可能性は、Downs-Thomsonのパラドックスと関連する自動車交通と公共交通（例えば鉄道）の相互作用だけではなく、土地利用と交通との相互作用によっても生じると述べたが、図7.1.26は、このような可能性を実証的に証明している。

図7.1.26は、対象地域において最も混雑している京都市と大津市との間の経路の一般化費用が、ケース2で仮定した道路投資によってどのように変化するかを分析したものである。1995年に対象地域におけるすべての将来計画路線が整備されたと仮定した場合、7.1.2の図7.1.15～7.1.17に示しているケース2における夜間人口や商業業務従業者数、工業従業者数の変化から分かるように、多くの人口や産業が大津湖南地域に集中し、その結果2000年からは道路整備以前よりもっと混雑になることが分かる。

そこで、都市地域における交通計画においては、このようなことを考えて、土地利用と交通との相互作用を考慮する必要がある。

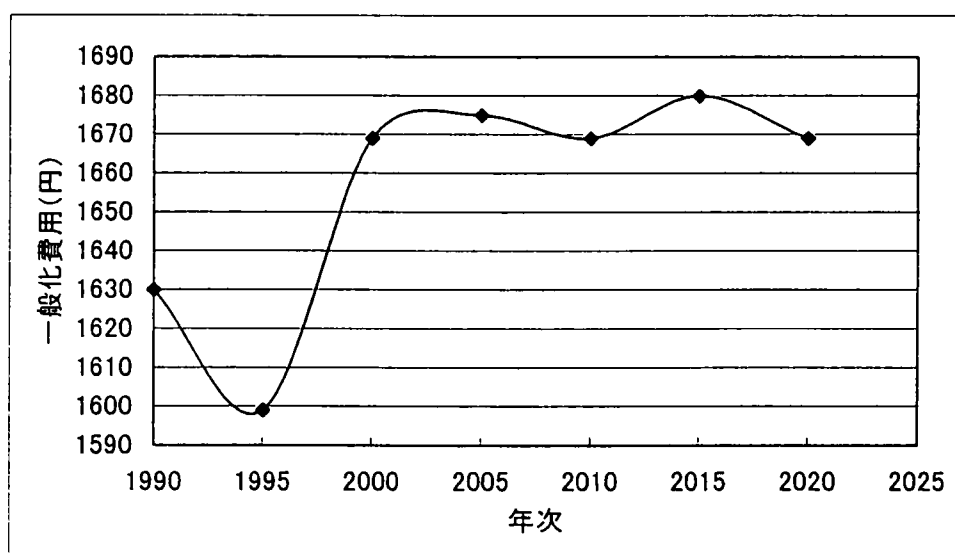


図7.1.26 ケース2における道路整備による
京都市中心部と大津市中心部との間の一般化費用の変化

7.1.4 間接効果の計測

第2章で述べたように、道路投資においては種々の影響が経済社会に及ぶことを考慮し、道路利用者便益のほか、その効果が波及することにより生じる地域経済および財政効果などの間接効果についても評価する必要がある。

ところが、既存の交通モデルによってはこのような間接効果の計測は不可能であり、また、これを計測するためには、再び地域要因を考慮した計量経済モデルなどの構築が必要であるが、交通モデルとの整合性が問題となる。しかし、環境を考慮した土地利用・交通

相互作用モデルを利用すると、道路投資による誘発交通や道路投資が都市空間構造形成に及ぼす影響と相まって間接効果を計測することができる。

以下に、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いて推定した滋賀県における南湖横断軸の間接効果を示す。

① 夜間人口

表 7.1.5 に示すように、南湖横断軸の供用 5 年後の 2025 年において約 800 人ほどの人口増が見込まれ、供用 20 年後の 2040 年には、約 2000 人の増加となると予測される。

表 7.1.5 地域経済効果（夜間人口）

（単位：人）

	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
With	1,434,506	1,464,483	1,494,221	1,523,005	1,552,612
Without	1,434,506	1,463,654	1,492,782	1,521,434	1,550,624
整備効果	0	829	1,439	1,571	1,988

② 従業者数

表 7.1.6 に示すように、南湖横断軸の供用 5 年後の 2025 年において約 130 人ほどの従業者人口増が見込まれ、供用 20 年後の 2040 年には約 400 人の増加となると予測される。

表 7.1.6 地域経済効果（従業者数）

（単位：人）

	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
With	788,176	831,581	875,825	920,293	965,263
Without	788,176	831,443	875,579	919,999	964,860
整備効果	0	138	246	294	403

③ 税収

税収については、式(7.1)に示す線形重回帰式を用いて、税収の予測モデルを構築し、推計した。構築した税収予測モデルのパラメータ推定結果を表 7.1.7 に示す。

$$TAX_I = \alpha \cdot TP_{M=1,I} + \beta \cdot TP_{M=2,3,I} \quad (7.1)$$

ただし、

TAX_I : 各市町村 I における税収

$TP_{M=1,I}$: 各市町村 I における夜間人口

$TP_{M=2,3,I}$: 各市町村 I における従業者数

α, β : パラメータ

表 7.1.7 パラメータの推定結果 (税収)

	係数	t 値
夜間人口	0.28467	6.959
従業者	0.100088	1.106
決定係数(補正 R^2)	0.959	

環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルからアウトプットされる夜間人口と従業者数を構築した税収モデルにインプットし、推定した結果を表 7.1.8 および図 7.1.27 および図 7.1.28 に示す。表 7.1.8 に示すように、南湖横断軸の供用 5 年後の 2025 年において年間約 2 億 5 千万円ほどの税収増が見込まれ、供用 20 年後の 2040 年には、年間約 6 億円の増収となると予測される。

表 7.1.8 地域財政効果 (税収)

(単位：百万円/年)

	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
With	487,247.8	500,125.7	513,019.5	525,664.1	538,593.3
Without	487,247.8	499,875.9	512,585.2	525,187.5	537,987.0
整備効果	0	249.8	434.3	476.6	606.3

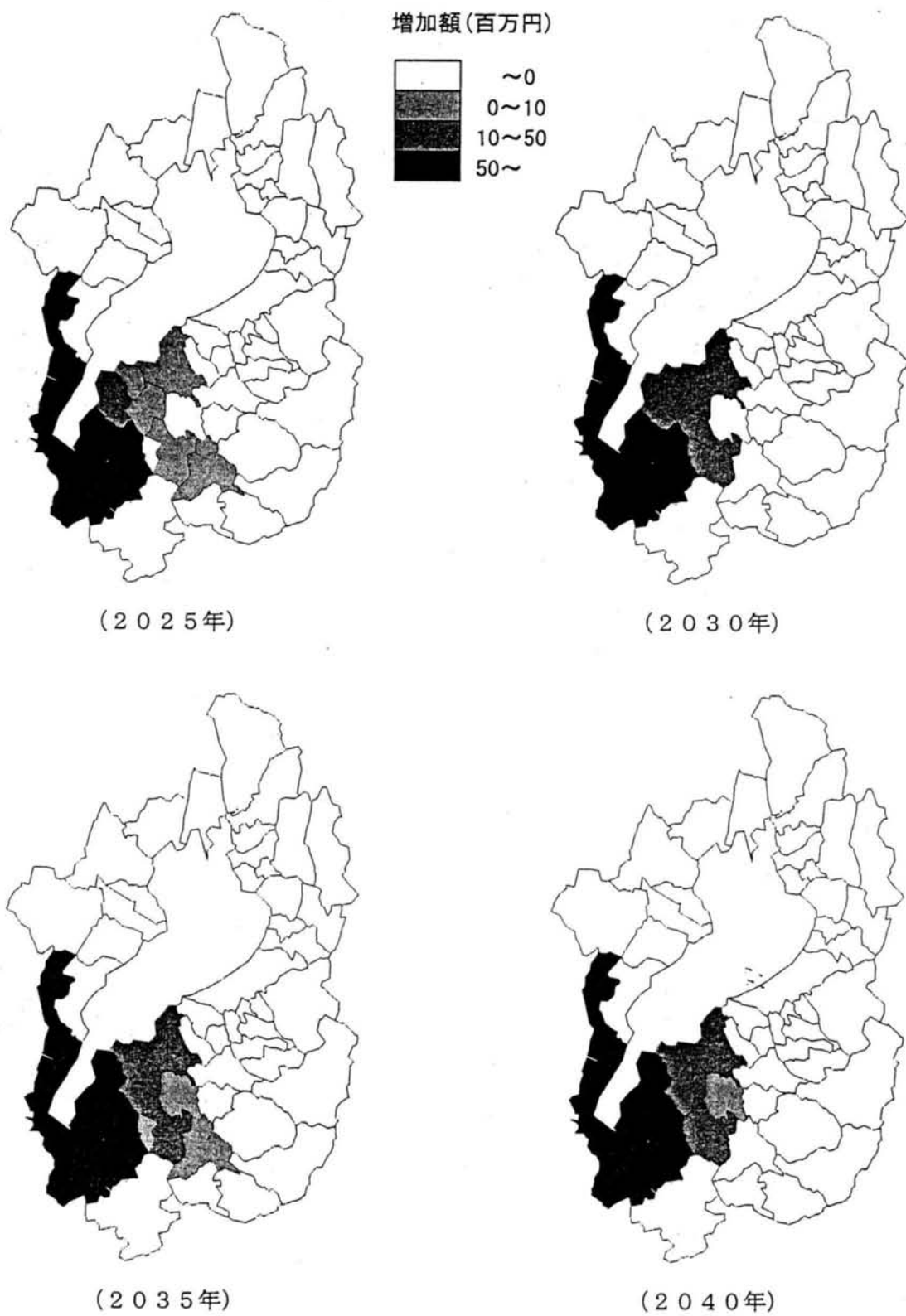
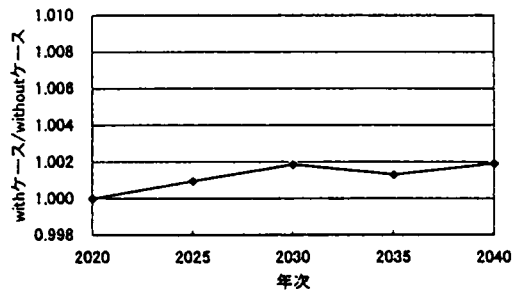
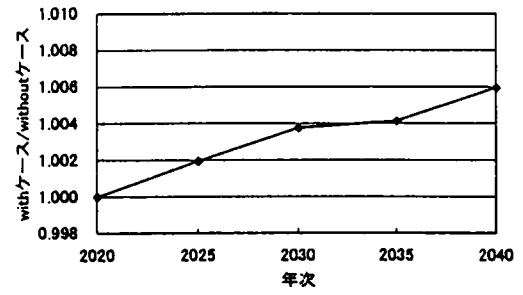


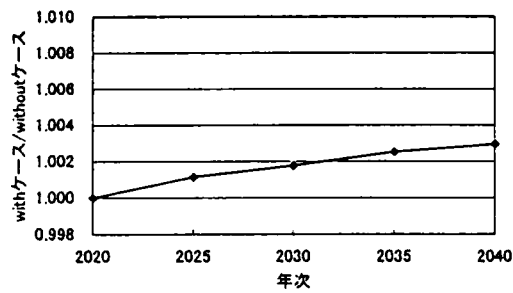
図 7.1.27 滋賀県における税収の変化 (With - Without)



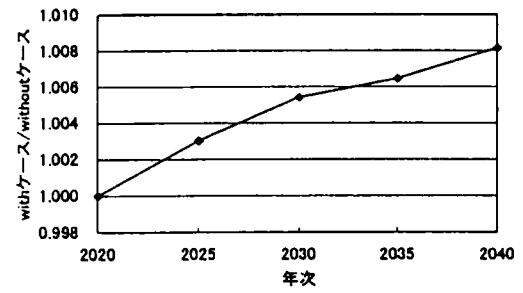
大津市



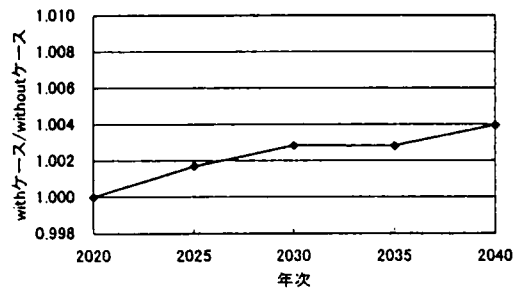
草津市



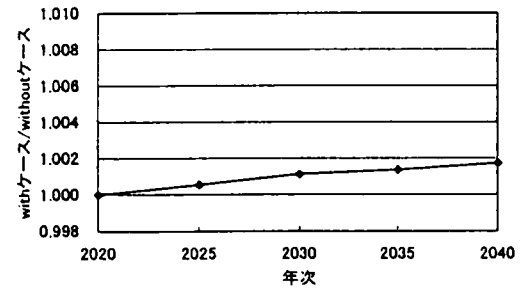
守山市



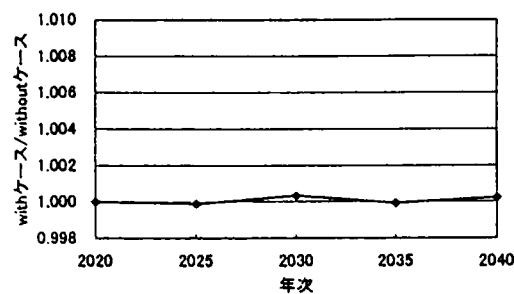
栗東町



中主町



野洲町



志賀町

図 7.1.28 大津湖南地域における税収の変化

④ 県内総生産

県内総生産については、式(7.2)に示すコブ・ダグラス型の推定式を用いて県内総生産の予測モデルを構築し、日本の GDP(名目)の成長度を3種類設定し、それぞれについて計測した。構築した県内総生産予測モデルのパラメータ推定結果を表 7.1.9 に示す。

$$GPDP = \alpha (TP_{M=2})^{\beta_1} \cdot (TP_{M=3})^{\beta_2} \cdot (GDP)^{\beta_3} \quad (7.2)$$

ただし、

$GPDP$: 県内総生産

$TP_{M=2}$: 商業業務従業者数

$TP_{M=3}$: 工業従業者数

GDP : 国内総生産(名目)

$\alpha, \beta_1, \beta_2, \beta_3$: パラメータ

表 7.1.9 パラメータの推定結果 (県内総生産)

	係数	t 値
商業業務従業者数	0.800060	46.34
工業従業者数	0.270634	17.36
国内総生産	0.700631	19.28
切片	1.12922E-06	-24.75
決定係数(補正 R^2)	0.993	

環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルからアウトプットされる商業業務従業者数、工業従業者数および日本の国内総生産を構築した県内総生産予測モデルにインプットし、滋賀県の県内総生産を推定する。その際、日本の国内総生産には、日本経済研究センターの予測値(1998年)¹⁾を用いることとした。さらに、国内総生産の予測誤差を考慮し、国内総生産の推移については、3つのシナリオを用意した。用意したシナリオは、日本経済研究センターの予測と比較し、国内総生産が5%増加した場合(高成長シナリオ)、日本経済研究センターの予測に基づく国内総生産を用いた場合(中成長シナリオ)、日本経済研究センターの予測と比較し、国内総生産が5%減少した場合(低成長シナリオ)である。なお、日本経済研究センターの国内総生産予測は、平均 GDP 成長率が、1995年～2005年2.9%、2005年～2015年1.3%、2015年～2025年0.5%となっている。ただし、2030年以降については、推計されていないため、ここでは、2025年の値をそのまま用いることとした。計測に用いた GDP の値を表 7.1.10 に示す。

表 7.1.10 計測に用いた GDP

(単位：10億円)

年次	高成長	中成長	低成長
1995	483,220.2	483,220.2	483,220.2
2000	590,710.9	562,581.8	534,452.7
2005	674,040.6	641,943.4	609,846.2
2010	721,593.4	687,231.8	652,870.2
2015	769,146.2	732,520.2	695,894.2
2020	789,463.3	751,869.8	714,276.3
2025	809,780.4	771,219.4	732,658.4
2030	809,780.4	771,219.4	732,658.4
2035	809,780.4	771,219.4	732,658.4
2040	809,780.4	771,219.4	732,658.4

これらの3つのシナリオについて滋賀県の県内総生産を推定した結果を表7.1.11に示す。表7.1.11に示すように、南湖横断軸の供用5年後の2025年において年間約15億6千万円～16億7千万円ほどの県民総生産の増加が見込まれ、供用20年後の2040年には、年間約47億円～50億円の増加となると予測される。いずれの年次についても、高成長シナリオにおける県内総生産増加額が最も大きくなっており、南湖横断軸の地域経済効果は、日本の経済状況によって左右されるといえる。

表 7.1.11(1) 地域経済効果（県内総生産：高成長）

(単位：億円/年)

	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
With	84,356.22	90,947.92	96,170.89	101,482.70	106,897.90
Without	84,356.22	90,931.17	96,140.25	101,445.80	106,847.20
整備効果	0	16.75	30.65	36.90	50.70

表 7.1.11(2) 地域経済効果（県内総生産：中成長）

(単位：億円/年)

	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
With	81,521.33	87,891.50	92,938.95	98,072.22	103,305.40
Without	81,521.33	87,875.32	92,909.33	98,036.60	103,256.40
整備効果	0	16.18	29.62	35.62	49.00

表 7.1.11(3) 地域経済効果（県内総生産：低成長）

（単位：億円/年）

	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
With	78,643.66	84,788.96	89,658.24	94,610.31	99,658.78
Without	78,643.66	84,773.35	89,629.67	94,575.95	99,611.51
整備効果	0	15.61	28.57	34.36	47.26

7. 2 環境と持続可能性を考慮する必要性の検証

7.2.1 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性の検証

第3章で述べたように、現在の地球環境問題は地域レベルでの汚染の集積の結果であるにもかかわらず、その根本的な原因を提供している地域レベルでは、地球的観点を取り入れた対応策とその基盤となる計画論は整備されておらず、また、この問題は、人類が生活している全ての分野と直間接的にかかわる問題にもかかわらず、各分野において地球的観点を取り入れた政策や計画は構築されていない。

そこで、第3章では持続可能な発展の実現に向けて、各都市・地域別、各分野別からの、二つの経路のアプローチを提案し、各都市・地域には都市の持続可能性指標づくり、交通分野には持続可能な交通戦略を提案した。さらに、本研究で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルが、提案した都市の持続可能性指標と持続可能な交通戦略と強く関連し、持続可能な発展に大きく寄与すると述べた。

ここでは、既存の交通モデルと本研究で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルが、都市の持続可能性指標および持続可能な交通戦略とどのような関連性を持つかを比較することによって、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性を検証することとする。

モデルと都市の持続可能性指標および持続可能な交通戦略との関連性を表 7.2.1、表 7.2.2 に示す。

表 7.2.1 の都市の持続可能性指標とモデルとの関連性から、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルが社会に関連する指標や生物の多様性、生計を営む収入を得るための労働時間などの一部の指標を除いて、ほとんどの都市の持続可能性指標と関連し、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの算出結果が直接的に持続可能性指標として利用できることが分かる。また、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルは、各政策が生み出した結果を経済・環境・社会などの面で総合的に把握できるようにすることによって持続可能な都市づくりへの政策判断を可能とすることが確認できる。しかし、既存の交通モデルによっては、このような総合的な判断は不可能であり、また都市の持続可能な指標との関連性も少ない。

表 7.2.1 都市の持続可能性指標とモデルとの関連性

持続可能性指標		既存の 交通モデル との関連性	本モデル との関連性
環境	道路交通による排出ガス	▲	●
	住居や企業などの地域の活動量による CO ₂ 排出量		●
	水質		▲
	生物の多様性		
	森林、農地などの非利用土地面積 (あるいは不透水域面積)		●
人口と資源	人口増加率		●
	人口当たり水消費量		▲
	ごみ排出量		▲
	エネルギー消費量		●
	人口当たり固形廃棄物とリサイクル量		
	太陽エネルギーなど再生可能エネルギー消費量		
	農地面積		●
経済	人口当たり商業業務従業者数		●
	人口当たり工業従業者数		●
	10 大企業の雇用者割合		
	生計を営む収入を得るための労働時間		
社会	中・低所得者層のための住宅の余裕		
	自治体の税金収入		●
	少年犯罪発生率		
	貧困子供率		

● : モデルの Output ▲ : モデルで適用可能

表 7.2.2 の持続可能な交通戦略とモデルとの関連性から、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルは、混雑や環境、土地利用、スプロールなど、持続可能な交通戦略の核心である統合的評価を可能とし、結果的に持続可能な交通戦略を支援する有効な手段となることが分かる。しかし、既存の交通モデルにおいては、道路交通による排出ガスおよびエネルギー使用量の算出によって部分的には環境保護やエネルギーなどの分析が可能であるが、持続可能な交通戦略が主張している統合的評価は不可能であることが分かる。むしろ既存の交通モデルは、7. 1 の分析から分かるように、道路整備が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響や土地利用変化による誘発交通による影響などを無視することによって、道路交通による排出ガスおよびエネルギー使用量を実際より過少評価する可能性が高いこ

とから、環境をさらに悪化させる可能性がある。

表 7.2.2 持続可能な交通戦略とモデルとの関連性

戦略	既存の交通モデル との関連性	本モデル との関連性
選択肢の多様化	●	●
需要管理	▲	▲
決定過程		●
公教育		
都市計画と交通計画		●
環境保護と廃棄物の削減	▲	●
土地利用		●
エネルギーの利用	▲	●
より完全なコストの計算		▲
研究と技術革新		
雇用の創出		●

●：モデルで適用可能 ▲：モデルの改善によって部分的に適用可能

7.2.2 モデルによる TDM 政策の評価

2001年4月6日、国連経済社会局が国連人口開発委員会に報告した世界の人口予測は、2050年の世界人口が93億人に達するというものだった。現在の世界人口は61億人だが、6割以上も増加することになる。ところが、2050年の自動車の保有台数は、人口の増加率をはるかに越えて、現在の7億台から20億台を超えると予測される（成田・小林, 1999）²⁾。

そして、Noland (2001)³⁾ が指摘したように、道路整備による交通容量の拡大は、新たな交通量を発生させ、エネルギー消費や環境に対する汚染を以前より増加させる。

また、第2章と7.1で指摘したように、都市圏における道路システムの拡大は、理想的なコンパクトな都市空間構造をもたらすことなく、スプロールを助長し、結果的には日当り走行距離の増加や旅行時間の増加、自動車利用の増加などによって、エネルギー消費量の増加や環境悪化などの悪影響をもたらす。

そこで、これらの傾向から見ると、これからの交通政策として、TDM政策の導入などによる自動車交通量の削減が強く求められる。

以上のことから、ここでは環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルによって、TDM政策による効果と道路整備による効果を比較し、TDM政策の導入の必要性を検証することとする。

道路整備としては、7. 1で適用したケース2の場合を仮定する。すなわち、対象地域である京都市・滋賀県におけるすべての将来計画路線の整備を仮定する。これは、7. 1においても述べたように、1995年にすべての路線が整備されると仮定し、大きな交通費用の減少を想定したケースである。

そして、TDM政策としては十部制を考え、対象地域における道路交通量が10%削減されたことを想定する。十部制は、1980年代後半、韓国のソウルで導入された政策であり、自動車のプレートナンバーの下一桁の数字が、当日の下一桁の数字（例えば、25日なら5）と一致する場合には、自動車の利用をしない、とする制度である。すなわち、各自動車は十日に一日、自動車の利用が禁止される（藤井, 2001）⁴⁾。

環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いて推定した1995年における各政策の効果を表7.2.1に示す。

表 7.2.1 道路整備と TDM 政策の比較

政策	交通費用		エネルギー		CO ₂		NO _x	
	円 (円/Km-car)	比率	Tcal (Tcal/年)	比率	Ton (t/年)	比率	Ton (t/年)	比率
現在状態	107.93	100.0	6,435	100.0	1,844,739	100.0	7,570	100.0
道路整備	85.85	79.5	5,892	91.6	1,689,278	91.6	7,243	95.7
十部制	96.61	89.5	5,328	82.8	1,527,733	82.8	6,375	84.2

表 7.2.1 から、十部制は、エネルギー消費量および CO₂ 排出量においては約 17% の減少効果があり、NO_x 排出量においては約 16% の減少効果があることが分かる。また、交通費用においても約 11% の減少効果があることが分かる。

道路整備は、対象地域におけるすべての将来計画路線が 1995 年にすべて整備されると仮定したにもかかわらず、エネルギー消費や CO₂ 排出量、NO_x 排出量の減少効果はそれほど大きくない。ところが、交通費用においては、約 21% と大きな減少効果が見られる。

しかし、ここで取り上げた道路整備は、対象地域におけるすべての将来計画路線が 1995 年にすべて整備されると仮定したものであり、また、莫大な建設費用を要する。さらに、上で述べたように、都市圏における道路システムの拡大は、理想的なコンパクトな都市空間構造をもたらすことなく、スプロールを助長し、結果的には日当り走行距離の増加や旅行時間の増加、自動車利用の増加などによって、エネルギー消費量の増加や環境悪化などの悪影響をもたらす。なお、道路整備は自動車交通への転換や自動車保有の増加、新たなトリップの発生などを誘発する。

以上のことから、TDM 政策は、持続可能な発展の実現に向けて非常に有効な政策であることが証明できる。そこで、交通計画においては、TDM 政策などの自動車交通量の削減策を積極的に導入し、混雑の緩和を図るとともに、エネルギー消費の抑制や環境保全といっ

た持続可能な発展の実現を目指すべきである。

7. 3 まとめ

本章では、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性の検証を行うため、二つのケースの道路整備を対象としてケーススタディを行い、交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響および土地利用と交通との相互作用による誘発交通を実証的に検証した。そして、構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いて間接効果の計測を行った。さらに、既存の交通モデルと本研究で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルが、都市の持続可能性指標および持続可能な交通戦略とどのような関連性を持つかを比較することによって、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性を検証した。なお、道路整備と TDM 政策との比較を行い、TDM 政策の積極的な導入を主張した。

交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響に関する検証においては、南湖横断軸の整備が、京都市と大津湖南地域との間の交通費用減少の便益を受けようとする人口と産業の大津湖南地域への移動を起し、Without ケースに比べてスプロールを加速化させることが示された。さらに、交通費用の減少がもっと大きい場合には、すなわちケース 2 の場合にはケース 1 より多くの人口と産業の移動を起し、スプロールもより拡大させるのが確認できた。また、道路投資による人口や産業の大津湖南地域への集中は、その地域の住宅・商業業務地の面積および工業地の面積の拡大、すなわち農地の開発といったスプロールの伝統的な問題を起すのが確認できた。そして、ケース 1 およびケース 2 で考慮した道路投資によって京都市の人口と産業が周辺部である滋賀県の大津湖南地域へ移転することによって、京都市の人口と産業が減少し、これによって道路システムの拡大が都市中心部の衰退を起し得るといった悪影響に関しても実証的に検証できた。

土地利用と交通との相互作用による誘発交通に関する検証においては、既存の交通モデルによる利用者便益と、本研究で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルによる利用者便益の比較分析を行い、道路投資がもたらす土地利用変化による誘発交通を考慮しなかった場合には、便益評価に歪みが生じることを証明した。なお、混雑している経路の混雑緩和のため道路投資を行ったことが、土地利用と交通との相互作用によって、逆にその経路の混雑が悪化する可能性があることを実証的に示した。

間接効果においては、構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いて間接効果の計測を行い、このモデルの適用性を検証した。

さらに、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの算出結果が直接的に持続可能性指標として利用できることや環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルによって、各政策が生み出す結果を経済・環境・社会などの面で総合的に把握できること、環境を考

慮した土地利用・交通相互作用モデルが持続可能な都市づくりへの政策判断を可能とすることを示した。また、持続可能な交通戦略との関連性から、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルは、持続可能な交通戦略を支援する有効な手段となることを示した。

そして、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルによって、TDM 政策による効果と道路整備による効果を比較し、TDM 政策の導入の必要性を検証した。

[第7章参考文献]

- 1)中村洋一・笛田郁子：2025年の日本経済，日本経済研究センター，1998.
- 2)成田幸治・小林 紀：エネルギー資源と自動車の将来展望，自動車技術，Vol.53, No.5, pp.9-14, 1999.
- 3)Noland R.B. (2001) Relationships between highway capacity and induced vehicle travel. Transportation Research Part A 35, 47-72.
- 4)藤井 聡：TDM と社会ジレンマ，交通問題における公共心の役割，土木学会論文集，No. 667/IV-50, pp.41-58, 2001.

第8章 結論

人類はこれまで、そのとどまるところを知らぬ経済活動の拡大や開発の過程において、成長の限界や環境の有限性について十分な配慮を行ってこなかった結果、環境問題は、地球規模で深刻になっており、我々の経済活動や開発自体が、人類の存在基盤である環境の状態を左右するものとなり、翻って我々人類の生存自体が脅かされるに至っている。

ところが、交通分野におけるエネルギー消費は増加しつつあり、クルマ利用の増大や混雑の深刻化、都市のスプロール化によって、環境質はさらに悪化しつつある。また、現在の地球環境問題が地域レベルおよび各分野での汚染の集積の結果であるにもかかわらず、その根本的な原因を提供している地域レベルと各分野では、地球的観点を取り入れた対応策とその基盤となる計画論は整備されていない。

そこで、本研究では、持続可能な発展の実現に向けて、都市地域・交通計画を行う際にはその基本的要素である土地利用・交通・環境を総合的に考慮する必要があることを明らかにした上で、相互に複雑に作用し合う土地利用・交通・環境を総合的に分析できる環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを構築し、道路交通政策の評価を行った。

以下、各章において得られた知見を述べ、本研究の結論とする。

第2章では、土地利用と交通との相互作用による誘発交通、交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響、道路整備による間接効果、の3つの観点から土地利用・交通相互作用モデルの必要性に関する理論的分析を行った。その結果、以下のことを明らかにした。

- ① 道路整備による土地利用変化によって新たに発生した誘発交通を考慮しないと利用者便益の評価に歪みが生じる。
- ② 混雑している経路の混雑を緩和するために道路を整備したことが、中長期的な土地利用変化による誘発交通によって、逆にその経路の混雑が悪化する可能性がある。
- ③ 道路システムの拡大が理想的なコンパクトな都市空間構造をもたらすことなく、都市の広域化およびスプロールを助長する可能性がある。
- ④ スプロールは、公共サービスのコストの増加や土地価格の上昇、農地の開発、地域社会意識の欠如、汚染の増加などの悪影響を及ぼす。さらに、走行距離の増加、旅行時間の増加、自動車利用の増加、公共交通の非効率化などの悪影響を及ぼす。
- ⑤ 利用者便益は道路投資による経済的便益を十分に反映しないため、間接効果を計測する必要があるが、既存の交通モデルによってはこのような間接効果の計測は不可能である。

第2章では、以上のことから、交通計画において土地利用と交通との相互作用を考慮する必要があることを主張した。

第3章では、地球環境問題と成長の限界、持続可能な発展論、土地利用・交通・環境の相互関連性、費用便益分析、の4つの観点から環境を考慮した土地利用・交通相互作用モ

デルの必要性和関連する分析を行った。その結果、以下のことを明らかにした。

- ① 成長の限界および地球環境問題に対して、解決の中心的な理念となっているのが持続可能な発展論である。
- ② 成長の限界および地球環境問題に対して、モデルも変化し、モデルは多様な領域に対するインパクトを評価することができるように適用の範囲を拡張しなければならない。
- ③ 持続可能な発展をどのように達成するかに関する方法論や目標体系などが確立されていないことから、持続可能な発展の実現に向けて、各都市・地域別および各分野別からの二つの経路のアプローチを提案し、その方法論として都市の持続可能性指標づくりと、持続可能な交通戦略を提示した。
- ④ 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルは、都市の持続可能性指標および持続可能な交通戦略と強い関連性を持っており、その関連性から、持続可能性を考慮した都市地域および交通計画を支援することが可能である。
- ⑤ 土地利用、交通、環境は相互に強い関連性を持っている。
- ⑥ 持続可能性を費用便益分析に統合することが必要である。

第3章では、以上のことから、都市地域および交通計画においては環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いる必要があると主張した。

第4章では、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの発展の軌跡を考察するとともに、既存研究の問題点と特徴に対して分析を行った。その結果、以下のことを明らかにした。

- ① 既存の土地利用・交通相互作用モデルは土地供給者の行動を明確に捉えていない。
- ② 異なる主体間の価格競争による立地競争を考慮しない場合が多い。
- ③ 既存の大部分の研究は、移転費用を無視しながらもすべての活動主体を立地配分させるが、これによって効果計測を行うと対象地域の各ゾーンにおいては実際より過大評価あるいは過小評価される可能性が高い。
- ④ 理論を満足しながらも実用性を持つモデルが要求される。
- ⑤ 交通部門だけではなく土地利用の変化から生じる環境へのインパクトも分析できるように、環境モデルを構築する必要がある。
- ⑥ 土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向から、立地選択モデルにおいては集積経済、サービスやレクリエーション機会などの生活機会への接近性などを考慮する必要がある。

第4章の既存の研究に対する分析を踏まえて、第5、6章ではモデルの構築とモデルの適用を行っている。

第5章では、第4章での分析結果を踏まえて、都市経済学理論に基づいて環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの構築を行った。その結果、以下のような成果が得られ

た。

- ① 各主体の行動をすべて最適化行動として捉えた。特に土地供給者の行動を資産選択による期待効用最大化と捉え、土地供給者の土地供給行動を明確化した。
- ② 既存の大部分の研究が移転費用を無視しながらも、対象地域のすべての主体を立地配分させる問題に対して、立地を変更する立地需要主体数のみを立地配分させるよう、主体を立地動態別に留保層と変動層に分類し、変動層をさらに新規層と移動層に分類し、変動層だけを立地配分対象とする立地需要主体数算定モデルを構築した。
- ③ 異なる立地主体間の土地をめぐる価格競争による立地競争を、付けね概念を用いて明確化した。
- ④ 環境モデルの構築においては、産業連関表を利用し、交通部門だけではなく土地利用の変化から生じる環境へのインパクトも分析できるようにモデルの構築を行った。

第5章では、理論的完結性を満足させながらも実用性を兼備するように環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの構築を行った。

第6章では、第5章で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いて、パラメータ推定や現況再現性の検証などの実際計画における適用性を検討した。その結果、以下のような成果が得られた。

- ① パラメータ推定結果は、いずれのサブモデルも概ね良好な結果が得られた。
- ② 第4章で述べた土地利用と交通との関連性に関する新しい傾向から、生活機会への接近性を考慮するため採択した人口へのアクセシビリティ説明変数、また、集積経済を考慮するために採択した各ゾーンにおける商業業務従業者数と製造業従業者数も有効な結果が得られた。
- ③ 現況再現性の検証結果、いずれの指標も相関係数は0.9以上を示し、本研究で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルが非常に高い適用性を持つことを示した。
- ④ 環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いて1995年におけるCO₂排出量およびエネルギー使用量を推計し、本モデルが第3章で述べた都市の持続可能性指標および持続可能な交通戦略に大きく寄与できることを示した。

第6章では、以上のことから、本研究で構築したモデルが、相互に複雑に作用し合う土地利用、交通、環境を総合的に考慮でき、また、交通計画においては統合交通計画の策定を支援することが可能であることを示した。

第7章では、第5章で構築した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルが第6章で高い適用性を示していることより、構築したモデルを用いて道路交通政策の評価を行った。また、構築したモデルを用いて、第2、3章で示した環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルの必要性に関する理論的な主張に対して実証的な検証を行った。その結果、以下のような成果が得られた。

- ① 道路投資がもたらす土地利用変化による誘発交通を考慮しなかった場合には、便益評価に歪みが生じることを明らかにした。
- ② 混雑している経路の混雑緩和のため道路投資を行ったことが、土地利用と交通との相互作用によって、逆にその経路の交通流をさらに混雑させる可能性があることを実証的に示した。
- ③ 道路システムの拡大は都市の広域化およびスプロール化を助長することを実証的に検証した。
- ④ 道路システムの拡大が都市中心部の衰退を起し得るといったスプロールの悪影響に関しても実証的に検証できた。
- ⑤ 間接効果を計測し、本モデルが、土地利用と交通との相互作用による誘発交通の分析や、交通が土地利用と都市空間構造に及ぼす影響などと相まって道路整備による総合的な効果分析を可能にすることを示した。
- ⑥ TDM 政策による効果と道路整備による効果を比較し、TDM 政策の導入の必要性を検証した。

第7章では、以上の実証的な結果から、交通計画においては環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いる必要があることを明らかにした。

本研究では、持続可能な発展に向けて、相互に複雑に作用し合う土地利用・交通・環境を総合的に分析できる環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを構築した。そして、構築したモデルによってケーススタディを行い、本モデルが、土地利用・環境・エネルギーなどの持続可能性に関する分析および持続可能な交通戦略が主張している統合的評価を可能にすることを示した。また、環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルは、各政策が経済・環境・社会などの面で生み出す結果を総合的に把握できることから持続可能な都市づくりを支援する有効な手段として活用できることを示した。

さらに、誘発交通や都市の広域化およびスプロール化、環境問題などの観点から既存の交通モデルと比較し、交通計画においては環境を考慮した土地利用・交通相互作用モデルを用いる必要があることを明らかにした。

付録—1 持続可能な発展の定義一覧

1970年代

- (1) 持続可能な社会とは、その環境の制約の中で生きる社会をいう。その社会とは成長のない社会ではない。----- そうではなく、成長の限界を認め、----- 既存の成長の方法に代わる成長の方法を探す社会をいう。

James Coomer, "The Nature of the Quest for a Sustainable Society", in J. Coomer (ed.), *Quest for a Sustainable Society* (Oxford: Pergamon Press, 1979).

- (2) 責任ある自然資源政策のための指針：有効な自然資源基盤を長期にわたり一定に維持することを目指す諸活動が考慮されなければならない。この考え方はページ (Page, 1977) によって提案されたもので、不変の資源基盤を意味するわけではなく、将来世帯の生産可能性を維持あるいは拡大するような、資源埋蔵量、科学技術、それに政策的管理の組み合わせを意味する。

Charles Howe, *Natural Resource Economics* (New York: Wiley, 1979).

1980年代

- (3) 持続可能な発展：人間のニーズの満足と人間の生活の質の向上を永続的に達成するであろう発展。

Robert Allen, *How to Save The World* (London : Kogan Page, 1980), summarizing *The World Conservation Strategy*.

- (4) 持続可能な発展：生態系の本質的なプロセスと生命を支えるシステムの維持、遺伝子の多様性の保護および生物や生態系の持続的利用。

IUCN, WWF, and UNEP, *The World Conservation Strategy*, 1980.

- (5) 持続可能性基準は、最低限、将来の世代の暮らし向きが現在の世代よりも悪くなるのを放置すべきではない、ということを示唆する。プラスの割引率を廃止するよりもむしろ、現在価値基準を持続可能性のような他の基準で補うべきである。----- たとえば、将来の世代の暮らし向きを悪くさせないという制約のもとで、現在価値を最大化する選択をすべきであるかもしれない。

Tom Tietenberg, *Environmental and Natural Resource Economics* (Glenview, Ill.: Scott, Foresman and Co., 1984).

- (6) 環境と開発に関する世界委員会は、発展への全世界のポテンシャル（実は、生命を支える地球のポテンシャル）の壊滅的破壊という陰惨なシナリオが不可避の運命だとは信じていない。当面する問題は地球的規模であるが、解決不能ではない。この危機において、土地と人という2大資源が発展の約束を取り戻したということ、歴史は記録するであろうと信じる。われわれが自然を大切にすれば、自然はわれわれを大切にする。自然保全が本当に成熟したものになるのは、システムの一部を救うにはシステム全体を救わなければならないことを認めるようになった時である。これこそ、われわれのいう持続可能な発展の本質である。持続可能性には多くの次元がある。

第1に、持続可能性は貧困と生体維持に不可欠なものの欠乏を取り除くことを要求する。

第2に、それは資源基盤の保全と強化を要求する。そのみが、貧困の除去を確実に持続的なものとすることができるからである。

第3に、それは発展の概念を広げ、経済成長のみでなく社会的・文化的発展をも含むことを要求する。

第4に、それは、最も重要なことだが、あらゆるレベルでの意思決定において経済学と生態学の統一を要求する。

Prime Minister Gro Harlem Brundtland, Sir Peter Scott Lecture, Bristol, 8 October 1986.

- (7) きたるべき数十年間の重大な挑戦は、人類の福祉における生態学的に維持可能な進歩の見込みを高めるために、環境と発展の間の長期的かつ大規模な相互作用をどうすればもっとよく管理できるかを学ぶことである。

W. Clark and R. Munn, *Sustainable Development of the Biosphere*, (Cambridge: Cambridge University Press, 1986).

- (8) 持続可能性の考え方の核心は、現在の意思決定によって将来の生活水準の維持向上の見込みを台無しにすべきではない、という考え方である。このことば、資源基盤を維持向上させつつ、資源の配当で生きていくように経済システムを管理すべきことを意味する。この原則はまた、国民所得の計測者が決定したがつている所得の理想的概念と共通する点が多い。それは、将来における消費の見込みを減らすことなく、現世代の時代に消費できる最大の量という概念である。しかし、この持続可能な発展の概念は、現在の自然資源ストック、あるいは人的資産や物的資産、および自然資産を、いまある特定の構成で保全しなければならないという意味ではない。発展が進むにつれて、基礎になる資産基盤の中身は変化するからである。将来世代を代表するいかなる政治的・経済的世論もないから、将来世代の厚生を危うくするような政策の遂行は不公正だという幅広い合議がある。

Robert Repetto, *World Enough and Time* (New Haven: Yale University Press, 1986).

- (9) 持続可能な経済発展の概念は、第三世界に当てはめた場合には、草の根レベルの貧しい人々の物質的生活水準を引き上げることと直接的なかわりがある。これは、食料、実質所得、教育サービス、医療、公衆衛生、上水の供給、緊急時用飲料・現金の蓄えなどの増加によって定量的に測ることができるが、その集計レベル（ふつうは国のレベル）での経済成長とは間接的にしか関係しない。一般的に言えば、その主たる目的は、永続的で安定的な生活物資の供給を通じて、世界の貧しい人々を絶対的貧困から救うことにある。生活物資の供給は、資源の減耗、環境悪化、文化の破壊と社会的不安定を最小にするものでなければならない。

Edward Barbier, "The Concept of Sustainable Economic Development", *Environmental Conservation*, Vol.14 (No. 2), 1987.

- (10) 持続可能な発展とは、現在利用可能な経済的・社会的便益を、同様の便益の将来の潜在的可能性を危うくすることなく最大にするような、社会的・構造的経済変容（すなわち発展）のパターンと定義される。持続可能な発展の第1の目標は、合理的（これをどう定義するにせよ）で公平に分配される、幾世代にも永続する経済的福祉水準を達成することである。

----- 持続可能な発展とは、再生可能な自然資源を消滅させたり、悪化させたり、あるいは将来の世代にとっての自然資源の有用性を減少させたりしないような仕方で、それを利用することを意味する。----- 持続可能な発展とは、将来世代が再生不可能な（枯渇性）鉱物資源に容易にアクセスできる状態を不必要に排除しないような仕方で、それを利用することを意味する。----- 持続可能な発展とはさらに、再生不可能なエネルギー資源をゆるやかな速度で消耗し、再生可能なエネルギー源への秩序ある社会的転換が高い確率でできるように保障することを意味する。

Robert Goodland and G. Ledoc, "Neoclassical Economics and Principles of Sustainable Development", *Ecological Modelling*, Vol.38, 1987.

- (11) 持続可能性の定義は、資源基盤に平等にアクセスするのに必要な諸条件が、各世代について満たされることを要求する。

David Pearce, "Foundations of an Ecological Economics", *Ecological Modelling*, vol.38, 1987.

- (12) 持続可能な発展ということばは、生態学の教えは経済プロセスに適用し得るし、また適用すべきであるということを示唆している。持続可能な発展は、世界自然保全戦略に示された考え方を包含しており、すべての人の生活の質を向上させる発展を吟味・保証する環境上の理論的根拠を提供する。

Michael Redclift, *Sustainable Development* (London: Methuen, 1987).

(13) 持続可能な発展は信条となり、きまり文句となった。つまり、このことばは、しばしば用いられるがほとんど説明されない。持続可能な発展は、帰るところ戦略なのだろうか。再生可能資源にのみ適用されるのか。このことばは実際に何を意味するのか。広い意味では、持続可能な発展の概念は次のことを含む。

- ・ 非常に貧しい人々のための援助。彼らには環境を破壊する以外に選択肢が残されていないからである。
- ・ 自然資源の範囲内での自力による発展という考え方。
- ・ 費用効果的な発展という考え方。これは、伝統的なアプローチに異なった経済的基準をあてはめる。すなわち、発展は環境の質を悪化させるべきではないし、長期的にわたって生産性を低下させるべきでもない、という考え方である。
- ・ すべての人のための健康管理、適正技術、食料自給、きれいな水と住みかという重要な課題。
- ・ 人間重視のイニシアティブが必要とされるという考え。換言すれば、この考えにおいては人間は資源である。

Mustafa Tolba, Sustainable Development-Constraints and Opportunities (London: Butterworth, 1987).

(14) 新しい発展の道が求められていることがわかった。それは、人間の進歩を数ヵ所で数年間だけ持続させるのではなく、地球全体のために、はるかな未来にいたるまで持続させる発展の道である。したがって、持続可能な発展は、発展途上国のみならず工業国にとっても同様に目標となる。持続可能な発展とは、将来の世代が自らのニーズを充足する能力を損なうことなく、今日の世代のニーズを満たすような発展であり、次の2つの重要な概念を含む。

- ・ ニーズ、特に世界の貧しい人びとの欠くことのできないニーズの概念。これには最優先の順位を与えるべきである。
- ・ 現世代および将来世代のニーズを充足する環境の能力には、科学技術および社会組織の状態から決まる制約があるという考え方。

物的な持続可能性という狭義の概念といえども、世代間の社会的公平に対する配慮を包含する。この配慮は、論理的に各世代内の公平にまで拡張されなければならない。基礎的最低限度を超える生活水準が持続可能なのは、あらゆる地域において長期的持続可能性を尊重した消費水準が維持される場合に限られる。しかし、多くの人びとは、世界の生態的能力を超えた生活をしている。たとえば、エネルギー使用パターンにおいてもそうである。ニーズは社会的、文化的に決定される。持続可能な発展のためには、生態的に可能な範囲で、しかもすべての人が望み得る消費水準を奨励する価値観の振興が必要である。

経済的な成長と発展は、明らかに物的生態系における変化を必要とする。あらゆる場

所のあらゆる生態系を、手つかずのままで保全することはできない。動植物の種の喪失（すなわち消滅）は、将来の世代の選択肢を著しく制約し得る。したがって、持続可能な発展は動植物の種の保全を必要とする。

持続可能な発展の追求は、----- その発展のために、生態的基盤保全の義務を尊重する生産システムを必要とする。

World Commission on Environment and Development, *Our Common Future* (London: Oxford University Press, 1987).

- (15) 持続可能な発展：再生可能な資源の利用に際し、その利用にいつか終焉がくるようなレベルの環境破壊を行わないようにして永続する経済的発展。

Michael Allaby, *MacMillan Dictionary of the Environment*, 3rd ed. (London: MacMillan Press Ltd., 1988).

- (16) 持続可能な発展：基本的な生命を維持する諸システム（大気、水、土、生物）の維持と、このシステムの要素を分配し保護するインフラと制度の存在を通じて実現される人類の限界のない生存（単に生物学的な意味での生存ではなく生活の質を伴った生存）。

B.J.Brown et al, "Global Sustainability: Toward Measurement, Vol. 12, No.2, *Environmental Management*, Vol. 12, No.2, 1988.

- (17) 持続可能ということばの普通の使い方は、ストレスがあるにもかかわらず、ある活動を維持する能力を意味する。たとえば、ジョギングとか腕立て伏せのような肉体的練習を維持する能力を言う。これは技術的に最も受け入れやすい意味でもある。したがって、農業の持続可能性とは、ストレスまたはショックにもかかわらず、田畑、農場、あるいは国の生産性を維持する能力と定義される。

Gordon Conway and Edward Barbier, "After the Green Revolution: Sustainable and Equitable Agricultural Development", *Futures*, Vol. 20, No.6, December 1988.

- (18) 持続可能な発展の基本的な考え方は、自然資源（枯渇性資源を除く）および環境との関連においては単純である。これらの投入物の発展過程への使用は、いつまでも持続可能でなければならない。----- この考え方を資源に適用すると、持続可能性は、樹木、土壌の質、水などの所与の資源ストックは低下してはならないと解すべきである。

Anil Markandya and David Pearce, "Natural Environments and the Social Rate of Discount", *Project Appraisal*, Vol.3(No.1), 1988.

- (19) 国連貿易開発会議（UNCTAD）は、発展を持続可能なものとするために何をなすべきだろうか。以下にあげる行動のうちのいくつかを取るのであれば、持続可能な発展を

妨げる国際的慣性を弱めることが望ましい。UNCTAD の課題は以下のとおりである。

- ・ 環境問題をアジェンダの 1 項目に含める。
- ・ 環境および持続可能な発展の概念にもっと関心を向ける。
- ・ 環境と発展、成長と自然資源の利用との関係を詳細に研究する。異なる発展戦略は、環境にどんな影響を及ぼすか。地球の自然資源の容赦なき開発なしに成長は可能か。援助国や国際機関は、将来の援助が環境を破壊する活動に使われないことを条件とすることができるか。
- ・ 発展問題をより長期的に展望することによって、発展とより良い環境のための新しい目標を導入する。自然資源のより良い利用は、すでに交渉の対象になっている。
- ・ 交渉のあらゆるレベルで、環境面の必要条件と持続可能な発展を考慮に入れる。
- ・ 環境問題に関する特別委員会またはワーキンググループを設立する。持続可能な発展は、現存のすべての委員会およびワーキンググループ、特に UNCTAD 商品委員会で討議することができる。
- ・ 他の国際的関係者に情報を提供し、国際的活動を開始、調整し、環境と持続可能な発展に関する実行活動を追跡調査する。

Tuija Meisaari-Polsa, "UNCTAD and Sustainable Development: A Case Study of Difficulties in Large International Organisations", in Stockholm Group for Studies on Natural Resources Development, Perspectives on Sustainable Development, Stockholm Group for Studies on Natural Resources Management, Stockholm, 1988.

(20) われわれは持続可能な発展の概念を明確にする必要がある。私はより総合的な 5 つの定義を提案する。

第 1 に、地元のレベルからスタートして、地域の農業や工業の慣行がいつまでも持続できるかどうかを単純に問うことができる。その慣行は、地元の資源基盤や環境を破壊するであろうか。あるいは、同じように悪いことだが、地元の人びとや文化システムを破壊するであろうか。あるいは、資源基盤、環境、科学技術、文化が、時間の経過とともに相互に強化しあいながら進化するであろうか。この第 1 の定義は、物質およびエネルギーの投入物、あるいは新しい知識、科学技術、制度上のサービスなどの社会的投入物が、その地域の外側から供給されるかもしれないことを無視している。

第 2 に、その地域が、エネルギーと原料について、自地域外からの再生不可能な投入に依存しているかどうか、問うことができる。あるいは、その地域が、持続可能な仕方管理されていない自地域外からの再生可能資源に依存しているかどうか、問うことができる。

第 3 に、さらに一般と理論的に高度になるが、その地域がある意味で文化的に持続可能

かどうか、他の地域に文化的に依存するのと同じ程度に、他の地域の知的・制度的基盤に貢献しているかどうか、考えることもできる。

第4に、その地域が地球の気候変化の一因になっている度合い、他の地域に行動を変えざるを得ないようにしている度合いを問うこともできる。同様に、その地域が、他の地域によって引き起こされた気候変化や天変地異に適応するために、利用できる選択肢をもっているかどうかを問うこともできる。グローバルな観点からみれば、持続可能な発展のこの第4の定義は、炭化水素の酸化によって引き起こされる地球の複雑な天気変化に適応しながら、炭化水素エネルギー資源から再生可能エネルギー源へ移行することの難しさに取り組もうとするものである。

第5に、そして最後に、すべての地域が結びついた状態での文化的安定性について検討する。すべての地域は、互いに共存できる道に沿って進化しているだろうか、あるいは戦争で互いに破壊しようとしているだろうか。

これらの定義は、ますます包括的になりつつあるが、すべて、時間が経てば変わる人と環境の間の相互作用の持続可能性に取り組んでいる。

Richard Norgaard, "Sustainable Development: a Co-Evolutionary View", *Futures*, Vol.20, No.6, December 1988.

- (21) 持続可能な発展論が主張するのは、①管理された再生率または自然の再生率以下に資源採取率を抑えるという制約条件にしたがった発展と、②廃棄物を捨てる速度が、それを受け入れる生態系による同化作用（管理された同化作用または自然の同化作用）の速度を超えない範囲で、廃棄物のシンクとして環境を利用することである。----- 枯渇性資源については、持続可能な率を擁護することには、証明するまでもない問題点がある。

したがって、持続可能論者（sustainabilists）は、再生可能資源で枯渇性資源を代替させようとする傾向がある。同様に自明なことだが、持続可能性は良いこと、すなわち、持続可能な利用速度の範囲内での活用は望ましい目的だ、とする暗黙の仮定がある。これらの条件では、持続可能性とは、非常に長い期間（理論的には無期間）にわたって環境サービスが利用できるということを意味し得る。

David Pearce, "Optimal Prices for Sustainable Development", in D. Collard, D. Pearce and D. Ulph(eds), *Economics, Growth and Sustainable Development* (London: Macmillan, 1988).

- (22) 発展途上国における自然資源の劣化に関するキー・コンセプトは、持続可能性である。資源管理の慣行を持続可能な資源利用に向けて変革すれば、少なくとも、再生可能資源の保全に寄与し、その結果として国民の直接の福祉と将来のマクロ経済に寄与し得る。
- David Pearce, "The Sustainable Use of Natural Resources in Developing Countries",

in R.K. Turner (ed.) Sustainable Environmental Management (London: Belhaven Press, 1988).

(23) 発展は望ましい社会的目的のベクトルであると考えられ、ベクトルの成分には次の諸点が含まれると思われる。

- ・ 1人当り実質所得の増加
- ・ 健康と栄養状態の改善
- ・ 教育の成果
- ・ 資源へのアクセス
- ・ 所得のより公平な分配
- ・ 基本的自由の増大

----- そして持続可能な発展とは、発展のベクトルが時間的に単調に増加するような状況である。

要約すると、持続可能な発展の必要条件は、自然資本ストックの恒常性である。厳密に言えば、その必要条件は、土壌とその質、地表水とその質、陸生バイオマス、水生バイオマス、廃棄物の受け入れ環境としての廃棄物同化能力などの自然資源のストックの変化がマイナスにならないことである。

David Pearce, Edward Barbier, Anil Markandya, Sustainable Development and Cost-Benefit Analysis, London Environmental Economics Center, Paper 88-01, 1988.

(24) 政府は持続可能な経済発展の概念を支持する。世界中で安定的な繁栄を達成できるのは、環境が保護育成されている場合に限られる。

Prime Minister Margaret Thatcher, Speech to the Royal Society, 27 September 1988.

(25) 原則として、このような最適な持続可能な成長政策では、国の資本資産ストックあるいは自然環境資産ストックを減耗させることなく、1人当り実質所得の受容できる成長率を維持することが求められるであろう。

----- 非再生可能資源については、持続可能な使用について議論することは無意味である。たとえリサイクルと再使用のために相当な努力をしても、少しでも開発すれば、結局、有限のストックの枯渇にいたる。

----- この持続可能な発展様式においては、保全が、自然資源のオルタナティブな配分の望ましさの判断基準を決める唯一の基礎となる。

R. Kerry Turner, "Sustainability, Resource Conservation and Pollution Control: an overview", in R. K. Turner(ed.), Sustainable Environmental Management: Principles and Practice (London: Belhaven Press, 1988).

- (26) 持続可能な発展に要求される条件について大まかなコンセンサスが存在する。いまや2つの解釈が登場しつつある。ひとつは、持続可能な経済的・生態学的・社会的発展にかかわるより広い解釈であり、もうひとつは、主に環境面から見た持続可能な発展（すなわち資源および環境の長期にわたる最適管理）にかかわるもっと狭く定義した概念である。

持続可能な発展についてのより広範かつ高度に規範的な見解（環境と開発に関する世界委員会はこの見解を支持している）は、この概念を「将来の世帯が自らのニーズを充足する能力を損なうことなく、今日の世帯のニーズを満たす発展」と定義する。

これと対照的に、資源および環境の長期にわたる最適管理（環境的に持続可能な発展についての狭い定義）に配慮すると、自然資源のサービスと質を維持しつつ、経済発展の純便益を最大化することが要求される。

Edward Barbier, *Economics, Natural Resources, Scarcity and Development* (London: Earthscan, 1989).

- (27) 持続可能な発展とは、1人当りの経済的福祉の水準という意味での経済的福祉の総計が維持又は増加されることをいう。

Robert H. Haveman, "Thoughts on the Sustainable Development Concept and the Environmental Effects of Economic Policy", Paris: OECD seminar on The Economics of Environmental Issues, Paper No.5, 25th September 1989.

- (28) (持続可能な発展とは) 環境の価値と、将来の予測可能な範囲の拡張と、公平性である。将来世代は、現世代の活動によってもたらされた資源の恩恵の減少を補償されるべきである。

David Pearce, Anil Markandya, and Edward B. Barbier, *Blueprint for a Green Economy*. (London: Earthscan Publications Ltd., 1989).

- (29) 持続可能な発展の標準的定義は、1人当りの効用が減少しないことである。これは世代間公正の基準として、自明の説得力があるからである。

John Pezzey, *Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development*, World Bank, Environmental Department, Working Paper No.15, Washington, DC, May 1989.

- (30) 持続可能な発展という語句は、例えばオリョーダンなどによって、矛盾した表現であると批判されている。もし発展が経済的成長と同義であるならば、この批判は実際正当化される。有限の世界ではマルサスの唱えた限界によって持続的成長が妨げるのである。

---- 究極的には、手放しの経済発展は環境劣化、経済発展の鈍化、そして生活水準

の低下につながる。当然、発展という語句は成長を含む必要性はない。世界や社会、生態圏が、より多く生産するとかより多くの貧困層の基本的欲求を満たす、など、何らかの意味で良くなっているという概念を持つと考えることもできる。従って、この語句は価値判断を含む。原則的には、発展は（経済的、政治的、文化的又は環境における）構造的改革または技術的改革の成功などにより持続可能である。

R.E. Munn, "Towards Sustainable Development: an Environmental Perspective, in F. Archibugi and P. Nijkamp, *Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*, (The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989).

1990年代

- (31) 持続可能な発展の概念は、経済活動と環境的資源保護の間の密接な鎖がりのより詳細な研究に結び付く。それは、“過度に減少していない”環境的資源の遺産が主要な要素となる環境と経済の関係を意味する。

Organisation for Economic Co-operation and Development, *ISSUESPAPER: on Integrating Environment and Economics*, (Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, 1990).

- (32) (持続可能な発展は、)時代を通じて天然資源の恩恵と質が維持されることを制約条件として経済発展の純便益を最大化することを含む。--- (持続可能な発展の追及について) ①再生可能な資源を使用する時には常に自然の再生量以下しか利用しないこと。

$h < y$, h =収穫(使用)割合、 y =自然の再生割合 ②廃棄物のフローを常に環境の同化能力以下に保つこと。 $w < A$, w =廃棄物のフロー、 A =同化能力

David W. Pearce and R. Kerry Turner, *Economics of Natural Resources and the Environment* (Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press, 1990).

- (33) 持続可能な発展は、発展計画の取り組み方を示している。しかし、その語句は発展の目標や持続可能性のための生活水準の質や優先順位についてはなにも示唆していない。

---- 持続可能性はいかなる意味においても生態学的または生命維持のための資源の基盤の持続可能性を必要とする。

Lynton Keith Caldwell, *International Environmental Policy* (Duke University Press, 1991).

- (34) 持続可能な発展: 生態系が支える維持能力の中で生きながら人類の生活の質を改善す

ること。

IUCN, UNEP, and WWF, *Caring for the Earth* (Gland, Switzerland: IUCN, UNEP, and WWF, 1991).

- (35) (持続可能な発展は)通常発展途上国に適用され、天然資源の枯渇や劣化に至ることなく世界の貧困層の生活状況改善に必要な経済的および社会的発展を意味する。----- (持続可能な発展の定義について環境と開発のための国際学会(1982)を引用) 長期的には生活水準の改善と生産量の増加が維持されるように、天然資源および生物資源の絶滅を回避しながら貧困層の多くの人々の生活水準を改善するプロセス。----- より適切で普遍的な定義は、“自然と人的環境の包含力の中で起こる発展”であるかもしれない。

John McCormick, *Reclaiming Paradise* (Bloomington: Indiana University Press, 1991).

- (36) 持続可能な発展: 資源の利用度合の低下により生活の質を永続的に改善できるような、また、それによって将来世代に残せる天然資源及びその他の資産が減少していないかまたは増加させているようなアプローチをいう。

Mohan Munasinghe and Ernst Lutz, *Environmental-Economic Evaluation of Projects and Policies for Sustainable Development*, World Bank, Environment Department, Environment Working Paper No.42, January 1991.

- (37) 安定状態の維持は、持続可能な発展の有効な定義の一つである。安定状態とはいくつもの変化が互いに相殺するような動的な状態をいう。----- 資源、生物、汚染などの意味での安定状態の維持とは、次の意味を含む:

- ・ (条件つきで) 再生可能な資源の利用は (ある特定の地域と時間の内で) 新たなストックの生成量を越えてはならない。つまり、たとえば、一年に汲み上げる地下水の量は、毎年降水や土壌の表面から新たに増加する地下水の量を越えるべきでない。
- ・ 化石炭素燃料などの相対的に再生不可能で残存量の少ない資源や量の希薄な金属類の使用は、将来世代が現世代と等しい量の再生可能な資源により補償されるようなことのない限り、ゼロに近くなくてはならない。

Harman Verbruggen and Onno Kuik, “Indicators of sustainable development: an overview”, in Onno Kuik and Harman Verbruggen, *In Search of Indicators of Sustainable Development*, (Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991).

- (38) WECD の見解によると、この概念は経済発展と環境の持続可能性という二つの基本的な概念を結合させている。環境が持続可能な経済発展は、ある経済環境的システムの

構造や組織や活動が、使用可能な資源によって持続できる最大限の福祉に向けた一連の変化のプロセス、と考えることができる。

Leon Braat, "The predicative meaning of sustainability indicators", in Onno Kuik and Harman Verbruggen, *In Search of Indicators of Sustainable Development*, (Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991).

(39) (持続可能な発展とは)

- a) 将来世代が天然及び生産された資産からの恩恵を受ける権利、
- b) 将来世代に資産を移転するための公式及び非公式の制度が長期的に生活の質を保証するのに適切であるか、ということに関係する。

持続性とはまず第一には世代間の公平性である。

Richard B. Norgaard, *Sustainability and the Economics of Assuring Assets for Future Generations*, World Bank, Asia Regional Office, Working Paper Series No. 832, Jan. 1992.

- (40) 持続可能な発展とは、経済活動が人工的または天然の資産の許容範囲内でしか拡大すべきでない、という意味である。より狭義の定義では、人類の造り上げた資産と天然の資産との代替性を除外し、人工的な資産と同様に天然の資産の水準の維持を必要とする。持続可能な発展は特に十分な水の補給、十分な土壌の質の水準（土壌の侵食の防止）、現存する生態系の保護、(例、熱帯処女林)、大気と水の質の維持（不要物による質の悪化を防ぐ）などが必要とされているようである。これらの場合に持続可能性の概念は、全体としての天然資源の不変性（いくつかの代替の可能性が考えられるかも知れないが）だけでなく、各種類別の天然資源ごとの（例えば特定された生態系ごとの）不変性も含むべきである。

United Nations Statistical Office, *SNA Draft Handbook on Integrated Environmental & Economic Accounting*, 1992.

- (41) 持続可能な社会とは、世代を超えて持続されうる社会であり、それを維持している物理的・社会的システムを侵害しないだけの先見の明と柔軟性、知恵を備えた社会である。

Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers, *Beyond the Limits*, Chelsea Green Publishing Company, 1992

- (42) 持続可能な都市とは、環境やエネルギーの制約条件が社会経済的便益に反映される都市である。

Peter Nijkamp & Adriaan Perrels, 1994. *Sustainable Cities in Europe*, Earthscan Publications Ltd, London

付録—2 開発者の行動モデル

開発者の利潤 π_{mi} と生産関数 F_{mi} を式(1)、(2)のように仮定する。

$$\pi_{mi} = r_{mi} F_{mi} - c_{mi} K_{mi} - p_{mi} L_{mi} \longrightarrow \text{MAX} \quad (1)$$

$$s.t. \quad F_{mi} = K_{mi}^a L_{mi}^{1-a} \quad (2)$$

ただし、

π_{mi} : 区画 i における開発者 m の利潤

F_{mi} : 区画 i における開発者 m の建物床生産量

K_{mi} : 区画 i における開発者 m の資本の投入量

L_{mi} : 区画 i における開発者 m の土地の投入量

r_{mi} : 区画 i における開発者 m の単位床面積当たりの賃貸収入

c_{mi} : 区画 i における開発者 m の資本の価格

p_{mi} : 区画 i における開発者 m の土地の地代

a : パラメータ

ここで、容積率 I_{mi} は式(2)から式(3)のように表現できる。

$$I_{mi} = F_{mi} / L_{mi} = \left(K_{mi} / L_{mi} \right)^a \quad (3)$$

また、単位土地面積あたりの開発者の利潤 ϕ_{mi} は式(1)、(3)から式(4)のように表現できる。

$$\phi_{mi} = \pi_{mi} / L_{mi} = r_{mi} I_{mi} - c_{mi} I_{mi}^{1/a} - p_{mi} \quad (4)$$

以上のことから、開発者の利潤を最大化する最適容積率 I_{mi}^* は、利潤最大化の一階の条件式(5)から式(6)のように導かれる。

$$\partial \phi_{mi} / \partial I_{mi} = r_{mi} - 1/a \left(c_{mi} I_{mi}^{1-a/a} \right) = 0 \quad (5)$$

$$I_{mi}^* = \left(a \cdot r_{mi} / c_{mi} \right)^{a/(1-a)} \quad , \quad I_{mi}^* \leq \tilde{I}_{MI} \quad (6)$$

ただし、

I_{mi}^* : 区画 i における開発者 m の最適容積率

\tilde{I}_{MI} : ゾーン I における用途別 M の法定容積率

また、そのときの付け値土地地代は式(5)、(6)から式(7)のように導かれる。

$$p_{mi} = r_{mi}^{1/(1-a)} \cdot c_{mi}^{-a/(1-a)} \left(a^{a/(1-a)} - a^{1/(1-a)} \right) \quad (7)$$

ここで、式(7)にランダム項 ε_{mi} を導入して、ランダム付け値を仮定すると、区画 i における開発者 m のランダム付け値関数は式(8)のように導かれる。

$$R_{mi} = B_{mi} + \varepsilon_{mi} \quad (8)$$

ただし、 $B_{mi} = \ln p_{mi}$

区画 i と開発者 m をそれぞれゾーン I と開発者グループ (用途別) M として集計すると、式(9)が得られる。

$$R_{MI} = B_{MI} + \frac{1}{\omega_1} \ln N_{MI} + \varepsilon_{MI} \quad (9)$$

ただし、

N_{MI} : ゾーン I における開発者グループ (用途別) M の開発需要

ω_1 : パラメータ

そして、確率項 ε_{MI} に IID を仮定すると、ゾーン I において開発者グループ (用途別) M が最大付け値を付ける確率が得られる。

$$\Phi_{MI} = \frac{\exp\left(\omega_2 B_{MI} + \frac{\omega_2}{\omega_1} \ln N_{MI}\right)}{\sum_Z \exp\left(\omega_2 B_{ZI} + \frac{\omega_2}{\omega_1} \ln N_{ZI}\right)} \quad (10)$$

そこで、ゾーン I における土地供給者からの用途別供給面積 O_{MI} は式(11)のように導かれる。

$$O_{MI} = S_I \cdot \Phi_{MI} \quad (11)$$

ただし、

O_{MI} : ゾーン I における用途別土地供給面積

S_I : ゾーン I における土地供給面積